



Exposición al Humo en incendio de Baterías de Iones de Litio



Myndigheten för samhällsskydd och beredskap



Giftinformationscentralen
SWEDISH POISONS INFORMATION CENTRE



Flisa
KONGRESSEN 5-6 OKTOBER

AISAB
AMBULANSSJUKVÅRDEN
I STORSTOCKHOLM AB



ESTUDIO

Exposición al humo en el incendio de una batería de iones de litio

Componentes importantes del gas,
descripciones de casos y recomendaciones
de eliminación

Exposición al humo en caso de incendio de una batería de iones de litio

Periodo: 2021–2022

Intérprete: Centro de Conocimiento para la Medicina/Cirugía de Desastres,
Universidad de Umeå, Investigador/autor responsable: Ulf Björnstig y Erik
Lindeman (algunas secciones)

Breve resumen: Los gases de los incendios de baterías de iones de litio contienen varios componentes gaseosos tóxicos e irritantes, de los cuales el fluoruro de hidrógeno (HF) es uno. Sin embargo, ni las autoridades suecas ni las noruegas, responsables de los problemas de envenenamiento, han tomado nota del problema de la IC particularmente temido. En 2018-2020, los incendios de baterías de iones de litio que requirieron esfuerzos de rescate tuvieron una incidencia de 13 por millón de habitantes por año. Se informan las últimas recomendaciones del Centro de Información sobre Venenos para su eliminación.

© La Agencia Sueca para la Protección y Preparación de la Comunidad (MSB)

Persona de contacto de MSB: Yvonne Näsman, 0102-

404 030 Producción: Advant

Número de publicación: MSB1960 - Agosto
2022 ISBN: 978-91-7927-269-2

MSB encargó y financió la implementación de este informe de estudio. Los autores son los únicos responsables del contenido del informe.

Prólogo

Esta recopilación de conocimientos se ha llevado a cabo en nombre de la Agencia Sueca para la Seguridad y Preparación de la Comunidad (MSB), el Departamento de Servicios de Emergencia y Prevención de Accidentes, la Unidad de Bomberos y Salvamento.

Los incendios en las baterías de iones de litio han sido notados por varios grupos de personal de rescate, así como por el interés de los medios de comunicación. Sobre todo, la sospecha de que el fluoruro de hidrógeno (HF). El contenido de los gases de fuego podría causar efectos sistémicos severos (efectos sobre el funcionamiento de los órganos internos) ha estado en el centro. A pesar del creciente conocimiento técnico sobre estos incendios, se ha demostrado que el conocimiento de los efectos médicos en los seres humanos no se ha desarrollado en la misma medida. En un seminario sobre el tema, el personal de rescate solicitó directrices nacionales sobre cómo debe tratarse al personal y al público expuestos (Söderholm, 2011; Westman, 2021).

El propósito del estudio es describir el estado del conocimiento respecto a los eventos con fuego en baterías de iones de litio, especialmente en espacios cerrados, así como qué consecuencias han generado estos eventos. La tarea también incluye la descripción del estado de conocimiento de algunos componentes importantes como la HF en los gases del fuego y su efecto en los seres humanos, así como el desarrollo de consejos sobre cómo manejar este tipo de eventos.

Dado que una buena colaboración entre los servicios de emergencia y la atención médica en ambulancia es la clave para el éxito de las operaciones de rescate, se describen los hechos (incluso los más especializados) para la comprensión mutua de los diversos componentes y posibilidades de la operación.

El responsable del informe es el profesor emérito Ulf Björnstig, de la Universidad de Umeå. El médico Erik Lindeman ha contribuido con el conocimiento y la información del Centro Sueco de Información sobre Envenenamientos (GIC) sobre el efecto de varios componentes del gas y el tratamiento de las personas expuestas al gas fuego. Ha contribuido especialmente con la actualización y un amplio conocimiento del efecto de la HF en los seres humanos, que se presenta en su totalidad en el "Apéndice". Karin Gunnvall, coordinadora local y experta en QBRNE, Servicios de ambulancia en Gran Estocolmo AB, ha aportado datos sobre la atención de las víctimas de incendios de baterías de iones de litio en su área, así como el acceso a la película instructiva producida en la Región de Estocolmo en colaboración con GIC. Médico jefe Patrick Brandenstein,

El médico responsable de la gestión médica Atención en ambulancia y el helicóptero de ambulancia Västerbotten, así como el médico de contacto para SLAS, han contribuido con los puntos de vista de SLAS. SLAS es "Médico responsable de la gestión de ambulancias de Suecia en colaboración", una organización dentro de FLISA; "La Asociación de Gerentes de Ambulancias Sanitarias Suecas".

Los administradores de casos Yvonne Näsman, Per-Ola Malmquist y Ulf Bergholm, MSB, han participado activamente en el proyecto y en la producción de datos de MSB.

Varios expertos también han aportado información esencial para la que se

agradecimientos:

- Jefe del Centro, Arne Broch Brantsæter, Nasjonal behandlingstjeneste para medicina CBRNE y MD, Ph.D., Knut Erik Hovda, Unidad Nacional de Noruega para la Medicina QBRNE en Oslo, se le agradece la información sobre experiencias con incendios de baterías de iones de litio y datos y recomendaciones noruegas para tratar dicha exposición a humos. • Docente Anton Westman, Umeå. Universidad, que realizó la entrevista con el caso de Malmö y contribuyó a la recopilación de datos médicos de este caso.
- Docente Fredrik Sjövall, jefe de investigación, Facultad de Medicina, Lunds universidad, que ha sido útil con la producción de datos de pacientes del Hospital Universitario Scania, Malmö.
- Otros consultaron a toxicólogos y ejecutivos en el área temática que contribuyeron con comentarios y consejos de expertos sobre temas individuales.

Las decisiones de la Autoridad de Ética Dnr 2021-06592-02 y 2019-06137 han aprobado el método de contacto con el paciente en el proyecto.

Umeå, 20220430

Ulf Björnstig Profesor
Emérito

Centro de conocimientos para la medicina y la cirugía de desastres
Universidad de Umeå
901 87 Umeå

Recuerdo para el personal de emergencia

A. Respuesta de rescate - Factores relacionados con el incendio de baterías de iones de litio

Leer el evento

- ¿Identificar si la batería de iones de litio está en llamas? A continuación, se forman gases irritantes, incluido el fluoruro de hidrógeno (HF). Tiene importancia para el cuidado.
- En caso de incendio en un apartamento, ¿se quema en la tapicería de los muebles (poliuretano), melamina, plásticos, encimeras laminadas, algodón o batería de iones de litio? Luego se puede generar cianuro de hidrógeno, que es un componente gaseoso extremadamente tóxico, pero tratable. Conocimientos valiosos a la hora de atender a las víctimas.
- El humo de una batería de iones de litio encendida en un espacio cerrado puede suponer un peligro de explosión.
- En caso de incendio de una batería de iones de litio, recuerde que puede quemarse, volver a encenderse y generar calor durante mucho tiempo (baterías grandes para horas).
- La cámara térmica puede identificar en qué parte de un "paquete de baterías" se está quemando, así como si el proceso de producción de calor cesa o aumenta.

B. Operación de rescate: evaluación general de los gases de humo expuestos

- Evaluar si las víctimas tienen signos de haber estado expuestas a gases calientes o irritantes, es decir, hay hollín, daño cáustico o hinchazón dentro y alrededor de la nariz o la boca, o efectos respiratorios como tos, sibilancias y/o sibilancias y dificultad para respirar.
- Si hay pérdida del conocimiento, sospecha de deficiencia de oxígeno, incluido el CO (monóxido de carbono) y/o envenenamiento por HCN (cianuro de hidrógeno), que a menudo funcionan juntos.
- NOTA. Tanto la intoxicación por CO como la de HCN dan una apariencia engañosamente fresca ("color de piel rojo cereza") - no se deje engañar de que la víctima está bien oxigenada.
- Si hay quemaduras en la piel, enfríe inmediatamente con agua (o gel para lesiones por quemaduras) si es posible.
- Evalúe si se necesita una corrección inicial, es decir. Qútese la ropa si hay un olor significativo a humo.

C. Operación de rescate por paramédicos: tratamiento de los humos expuestos.

Tratamiento estándar – falta de oxígeno – gases irritantes:

- En caso de pérdida del conocimiento o signos de hinchazón en el tracto respiratorio superior, considere la posibilidad de intubar si tarda mucho tiempo en llegar al hospital.
- En caso de síntomas graves de inhalación de humo o alteración de la conciencia, administre oxígeno con un flujo alto (15 l/min) a través de una máscara de depósito. En casos críticos, si es posible, administre oxígeno al 100 por ciento a través de CPAP (presión positiva) o respirador. En caso de síntomas leves, se puede administrar oxígeno en una máscara o cabestro.
- En caso de dificultad para respirar, primero administre una inhalación broncodilatadora, que se complementa con la inhalación de agentes antiinflamatorios (cortisona) para mejorar el intercambio de oxígeno en los pulmones, es decir, similar al tratamiento regular del asma.

Tratamiento contra componentes específicos del gas

- **Intoxicación por CO** con alteración de la conciencia (escala de coma de Glasgow GCS \leq 13) debe tratarse con **oxígeno al 100 por ciento**, lo que requiere una máscara ajustada, CPAP o intubación con un tubo "con manguito". En algunos lugares hay cámaras de presión que pueden ser una buena opción de tratamiento.
- Si hay **un incendio que produce HCN** y la víctima está inconsciente (GCS \leq 13), HCN puede haber contribuido a esto. A continuación, se administra inmediatamente hidroxocobalamina (**Cyanokit**®): 5 g en 200 ml de NaCl en forma de perfusión durante 15-30 minutos.
- Si el compromiso circulatorio grave (shock/paro cardíaco) o el coma (GCS \leq 9) no se resuelven con 5 g, se puede repetir la dosis. Una alternativa menos buena es **el tiosulfato de sodio** 150 mg/ml–100 ml iv. durante 5–10 minutos.
- Si hay signos de exposición a gases irritantes en caso de incendio de una batería de iones de litio, la exposición a HF puede contribuir a los síntomas. A continuación, se administran 4 ml de inhalación con **gluconato de calcio nebulizado (1 parte de gluconato de calcio al 10 por ciento de solución inyectable + 3 partes de solución salina isotónica) como adición a la** tratamiento broncodilatador y antiinflamatorio. Si es necesario, comuníquese con el Centro de Información sobre Venenos por teléfono 112 or 0104-566 700.

Contenido

Resumen	8
1 Introducción	9
2 La misión	11
1. Algunos datos sobre objetos y víctimas	3.1 Datos de MSB's
Informes de respuesta	
3.2 Datos del Servicio de Bomberos del Gran Estocolmo (SSB)	12
3.3 Validación de los datos de los MSB con respecto a las reclamaciones contra los datos de atención médica	14
4. Descripciones de casos	16
4.1 Incendio de bicicleta eléctrica – IVA care 4.2 Dos casos en el centro de Suecia	16
	18
Recopilación de conocimientos	19
5.1 Humo de incendio: varios componentes químicos de un incendio en una batería de iones de litio	19
5.1.1 Propiedades técnicas de la batería	19
5.1.2 Descarga térmica en una batería de iones de litio	20
5.1.3 Sustancias y componentes combustibles en vehículos y baterías de iones de litio	20
5.1.4 Refrigerante en vehículos	21
5.1.5 Detalles interiores	21
5.1.6 Imprimación y protección contra el óxido	21
5.1.7 Materiales compuestos como la fibra de carbono	21
5.1.8 Futuras baterías de accionamiento eléctrico	21
Efecto fisiológico en humanos	
Calor	
5.2.2 Quemadura: extensión y profundidad	
5.2.3 Efectos médicos de los gases de fuego	
6. Resumen y discusión	29
Referencias	32
7. Fluoruro de hidrógeno (HF) en forma líquida y gaseosa	36
8.1 HF en forma líquida	36
8.2 HF en gas para	37
8.2.1 Exposición por inhalación y riesgo de toxicidad sistémica (impacto en los órganos internos)	37
8.2.2 Exposición por inhalación y riesgo de daño a las vías respiratorias y los pulmones	38
8.2.3 HF gaseoso en el humo de la combustión de baterías de iones de litio	
8.2.4 Concentración de HF en el humo de incendio de las baterías de iones de litio	39
8.3 Ausencia de efectos pulmonares tóxicos en la literatura	
8.4 Referencias appendix	41

Resumen

Con base en los informes de respuesta de MSB, se han estudiado los incendios en baterías de iones de litio, que requirieron la intervención de los servicios de emergencia (N = 402), para los años 2018-2020. Estos eventos han tenido una incidencia de 13 por millón de habitantes al año. Los objetos de fuego más comunes fueron los teléfonos móviles, las tabletas/ordenadores de lectura, las baterías para hoverboards, las bicicletas eléctricas y los patinetes. Se han producido incendios tanto durante la carga como sin carga en curso. Los investigadores de MSB han entendido que esto último ocurre especialmente con las baterías de las bicicletas eléctricas.

Según los datos de MSB, de los cien incendios en los que se consideró que una persona había estado expuesta al humo, el nueve por ciento había recibido algún tipo de evaluación médica: el cinco por ciento de atención médica en ambulancia en el lugar y el cuatro por ciento había buscado atención médica. Los incendios de baterías de bicicletas eléctricas iniciaron la mayoría de los contactos médicos, seguidos de los incendios de baterías de hoverboards.

Al validar los datos relativos al resultado de las lesiones personales en las estadísticas de MSB con los datos médicos de la unidad de gestión CBRNE en el Gran Estocolmo (doce incendios), los datos de MSB sobre la intervención médica demostraron correlacionarse bien con los de la atención médica en casi todos los casos. De las 14 personas que fueron trasladadas a un centro de salud, todas sufrieron lesiones leves, excepto dos que tenían prioridad roja (prioridad 1).

Ambos habían sufrido quemaduras más graves inducidas por el calor. En los datos de la ambulancia no se había registrado ninguna lesión relacionada con los efectos sistémicos (es decir, el impacto en los órganos internos del cuerpo) por inhalación de fluoruro de hidrógeno (HF). Por lo tanto, esta simple validación indica que los datos de los MSB proporcionaron una buena idea de la necesidad de atención médica en los casos emparejados y los efectos específicos del sistema de IC estaban ausentes en los datos sanitarios de la unidad CBRNE.

El alarmante efecto corrosivo y tóxico del tan publicitado componente gaseoso fluoruro de hidrógeno (HFs) no ha sido particularmente notado, ni por el Veneno Sueco Centro de Información (GIC), ni por la unidad noruega CBRNE, a pesar de que Noruega cuenta con la mayor proporción de vehículos eléctricos en Europa. El GIC no ha encontrado evidencia en la literatura científica de que la HF gaseosa pueda causar efectos sistémicos alarmantes. Esto se describe en [la película informativa de la Región de Estocolmo y del GIC](#), que destaca especialmente los efectos de HF.

Los gases del fuego pueden tener un efecto sofocante, es decir, reducir la oxigenación (oxigenación) de las células del cuerpo, o tener un efecto tóxico (venenoso). Existe la oportunidad de mejorar las posibilidades de supervivencia de la víctima en la etapa de emergencia afectando, sobre todo, a la oxigenación. Esto se hace mediante el suministro de (i) oxígeno, (ii) la dilatación de las vías respiratorias con medicamentos y (iii) la administración de medicamentos antiinflamatorios en las vías respiratorias. Además, es posible administrar un antídoto (antídoto) contra la intoxicación por cianuro de hidrógeno (HCN), que bloquea la respiración celular. En caso de incendio en una batería de iones de litio, el tratamiento puede complementarse con aerosol de gluconato de calcio en el aire respirable, para reducir el efecto irritante de la IC localmente en las vías respiratorias. Las recomendaciones se elaboran en colaboración con el Centro de Información sobre Venenos y los actores sobre el terreno.

1 Introducción

En relación con la orientación de toda la sociedad hacia la electrificación de muchos productos y transportes, se ha discutido animadamente la cuestión de los riesgos de los gases de incendio que pueden surgir de la fumigación o el incendio en las baterías de iones de litio. Sobre todo, se ha percibido como escaso conocimiento de la acción del componente fluoruro de hidrógeno (HFs) (Söderholm, 2011; Westman, 2021). Por lo tanto, el Departamento de Servicios de Rescate y Prevención de Accidentes de MSB ha iniciado este estudio. La intención era producir hechos, basados en el estado actual de los conocimientos, para arrojar luz sobre el problema de las personas expuestas a este tipo de humo de fuego. A través de un mayor conocimiento, se pueden optimizar las tácticas y el cuidado, que es una de las razones por las que el MSB produce los hechos disponibles.

El personal de rescate ya está expuesto hoy y estará expuesto en el futuro a nuevos riesgos, dependiendo de los nuevos diseños, materiales y sistemas de propulsión en los futuros objetos y vehículos (Desarrollo tecnológico; MSB 2016 abajo). MSB ha producido varios informes con un enfoque en el desarrollo técnico y los problemas de ingeniería contra incendios, que no se tratarán con más detalle en el presente estudio:

Desarrollo tecnológico:

1. MSB 2020; Vehículos eléctricos y rescate

MSB 2016; Cambios: análisis ambiental del pasajero

automóviles • MSB 2013; Posibles factores de riesgo de los vehículos eléctricos en caso de accidente de tráfico

Batería de gas de iones de litio: •MSB/FOI 2015; Gases ventilados y aerosoles de iones de litio para automóviles LFP y Baterías NMC en nitrógeno humidificado bajo carga térmica

Operación de rescate:

MSB 2020; Operación de guiado y rescate en caso de baterías de iones de litio

Ropa de protección:

MSB 2018; Capacidad de protección de la ropa de protección contra incendios: pruebas de materiales con productos químicos formados durante incendios y ráfagas térmicas en baterías de iones de litio en vehículos eléctricos

La electrificación de los vehículos de carretera, bicicletas, patinetes, hoverboards, herramientas, etc. contribuye a aumentar el problema de los incendios de baterías de iones de litio. No es raro que estos incendios se caractericen por altas temperaturas, dificultad para extinguir el fuego y el hecho de que el curso del fuego puede llevar mucho tiempo. Por lo tanto, es probable que se produzca una concentración significativa de gases de humo en interiores y espacios cerrados. Una batería de bicicleta puede, según Meraner, Li y Sanfeliu Meliá (2021), así como Willstrand, Bisschop, Blomqvist, Temple y Anderson (2020), entre muchos componentes gaseosos producen monóxido de carbono (CO),

fluoruro de hidrógeno (HF/LiPF₆), ácido clorhídrico (HCl), cianuro de hidrógeno (HCN), gases nitrosos (NO_x) y azufre dióxido (SO₂). Además, se produce una cierta cantidad de componentes explosivos como el gas hidrógeno. En Willstrand et al. (2020) indican en las Tablas 7 y 22 las concentraciones medidas y/o calculadas en 1.000 m³ de diversos componentes de gas en caso de incendio de un vehículo eléctrico en relación con los valores límite de salud. Esto indica que el HCl, el NO₂ y el SO₂, en comparación con el HF, son componentes gaseosos igual de importantes desde el punto de vista de la salud. HCN no está listo para mostrarse. Sobre la base de estos datos, se pueden temer consecuencias significativas para la salud.

Por lo tanto, es valioso profundizar más en el tema desde el punto de vista del rescate y el cuidado.

En general, las baterías de iones de litio tienen la característica de que una ráfaga térmica, o un incendio por otra razón, a menudo puede continuar sin el suministro de oxígeno desde el exterior. Esto se debe a que la propia batería contiene agentes oxidantes. Además, la energía eléctrica almacenada añade energía adicional al fuego. Debido a que a menudo es difícil llevar agentes extintores refrigerantes a la fuente del incendio, este tipo de fuego en baterías más grandes puede ser un desafío técnico para extinguir. Esto, a su vez, contribuye a generar grandes cantidades de gases de fuego. La incandescencia y la pirólisis se producen a altas temperaturas del fuego, lo que puede generar componentes gaseosos especialmente tóxicos.

Las baterías de iones de litio se utilizan cada vez más en diversas aplicaciones pequeñas y grandes. Dado que muchos se manipulan en interiores, existe el riesgo de incendios espontáneos en interiores. Esto puede suceder no solo durante la carga, sino también de forma espontánea debido a la llamada formación de dendritas en la batería, que produce una forma de cortocircuito interno. Un ejemplo dramático de un incendio espontáneo es el incendio que ocurrió en un contenedor de carga con baterías de iones de litio en la sección delantera de un avión de carga jumbo. El incendio no se extinguió con las medidas automáticas estándar de extinción reductoras de oxígeno/sofocantes. El control del timón se quemó en pedazos. El humo espeso hizo que subiera hasta la cabina, obstruyendo completamente la visibilidad e incapacitando a los pilotos. A través del piloto automático, que todavía tenía alguna función, se intentó un aterrizaje de emergencia en el aeropuerto de Dubái, pero se estrelló en el desierto (UPS Airlines Flight 6, Wikipedia, 2010; TheFlightChannel, 2018).

En la industria automotriz, se están introduciendo nuevos materiales de construcción como diversos plásticos, resinas, adhesivos, fibra de carbono, aleaciones de magnesio, etc., que pueden tener el potencial de producir gases altamente tóxicos e intensificar la progresión del fuego. En el mercado se encuentran vehículos eléctricos con baterías de accionamiento cada vez más grandes (hasta un peso de varias toneladas). En el futuro estarán disponibles baterías aún más grandes en forma, por ejemplo, de almacenamiento de baterías estacionarias. A veces un gran número de vehículos se reúnen en espacios cerrados, como garajes, transbordadores y en el transporte marítimo de vehículos de nueva fabricación, cuando se transportan muchos miles de automóviles. Que los estacionamientos pueden ser un lugar donde muchos vehículos pueden incendiarse se ilustra con el incendio en un estacionamiento en Liverpool cuando 1.400 autos se incendiaron en Año Nuevo 2017/2018 y en Stavanger 300 autos se incendiaron en un estacionamiento en 2020. Sin embargo, ambos incendios ocurrieron en estacionamientos abiertos. En garajes cerrados, la concentración de gases de combustión y los riesgos son, por supuesto, mayores.

Posiblemente el problema anterior da una impresión un tanto pesimista con respecto al futuro. Sin embargo, hay un aspecto positivo en forma de mejora de los conocimientos y las tácticas de respuesta pueden tener un potencial significativo para mejorar el entorno de trabajo, así como para mejorar la seguridad del personal de respuesta y otras víctimas. El uso de los conocimientos modernos puede mejorar los resultados, por ejemplo, mediante el uso de antidotos contra los componentes gaseosos más tóxicos y el tratamiento óptimo de la inhalación de humo en los afectados. Sin embargo, esto requiere una buena cooperación entre los servicios de emergencia y el personal de ambulancias y que sepas en qué temas centrarte. Un buen conocimiento de la "lectura del fuego" da una indicación de qué gases de fuego tratables es probable que se generen.

2. La asignación

El acuerdo sobre el encargo establece: "El objetivo general es producir una visión general del conocimiento de casos reales centrados principalmente en baterías más pequeñas, como baterías de bicicletas, etc., que no pocas veces se almacenan en espacios cerrados. En general, los conocimientos recopilados también deben ser capaces de contribuir al desarrollo de métodos y técnicas de calidad garantizada para apoyar a los servicios municipales de rescate en sus esfuerzos de rescate más eficientes. El conocimiento debe ser la base de la educación futura".

"Además de esto, la visión general también puede contribuir a la base para la eliminación proactiva de riesgos con respecto al manejo de este tipo de baterías de iones de litio".

"La intención de este documento es que pueda ser utilizado como documento de conocimiento y formación para el personal de rescate de los servicios de emergencia, prehospitalarios la sanidad y la policía, en caso de incendio y, en particular, de incendio en una batería de iones de litio, así como un documento de planificación para los esfuerzos en diversos entornos y situaciones cerradas".



3. Algunos datos sobre objetos y víctimas

3.1 Datos de los informes de desempeño de MSB

Según los informes de respuesta de MSB de los años 2018-2020, se informaron 402 casos en toda Suecia en los que se declaró que las baterías de iones de litio eran la causa del incendio y/o se habían quemado. En este estudio se excluyen las pilas de botón pequeñas (a menudo llamadas pilas de litio).

Dado que estos datos son válidos para los incendios de baterías de iones de litio en los que se han utilizado servicios de emergencia, la incidencia es de 13 por millón de habitantes al año, sobre la base de una media de 10,3 millones de habitantes en Suecia para el periodo actual. Los objetos de fuego se muestran en Tabla 1.

Tabla 1. Frecuencia de eventos con diferentes objetos de fuego (354 conocidos; columna 1) y número de eventos y personas (entre paréntesis) en los que el hospital y el servicio de ambulancias se ocuparon de problemas de salud (columna 2) y el servicio de ambulancias.

Asunto	Total de eventos	Para el cuidado de la salud	Sólo la evaluación de atención médica en ambulancia
Teléfono móvil	54	1 (1)	1 (2)
Ordenador/tableta de lectura	49	1 (1)	2 (4)
Hoverboard	45	1 (1)	5 (9)
Bicicleta eléctrica	42	6 (9)	5 (7)
Juguete/pasatiempo	38	1 (2)	0
Patinete	35	1 (2)	1 (1)
Herramienta	25	0	1 (2)
Banco de energía	18	1 (2)	0
Ciclomotor/motocicleta eléctrica	15	1 (1)	1 (2)
Camión/coche/camión/barco	7	0	0
Otro objeto	26	4 (4)	3 (12)
Importe	354	17 (23)	19 (39)

Había un total de 409 casos en el material de datos. Sin embargo, la batería de iones de litio no había estado involucrada en 6 incendios de automóviles, además de que se incendió el sillín de una bicicleta eléctrica, pero el de iones de litio

La batería tampoco estuvo involucrada aquí. Por lo tanto, ninguno de estos eventos está incluido en el material presentado en la Tabla 1. En el cuadro se presentan los 354 casos en los que se disponía de información sobre el tipo de batería.

En 48 casos faltaba esa información. El grupo "otros" incluye por ejemplo, la batería para limpiar la máquina, la batería para la tabla de surf y las baterías del barco que se incendiaron cuando se carga en interiores, además de otras baterías de iones de litio cargadas.

En un camión, una carga de baterías de iones de litio se había incendiado cuando se expusieron secundariamente al fuego en el camión. Como curiosidad, se puede mencionar que tres teléfonos móviles y otros tres de batería de litio.

Los objetos eléctricos se habían incendiado cuando se colocaron en una estufa caliente. El investigador de MSB, Ulf Bergholm, ha notado que especialmente las baterías de las bicicletas eléctricas parecen tener una tendencia a incendiarse sin haber sido cargadas. Véase también la descripción del caso en el punto 4.1.

Los teléfonos móviles y las tabletas/computadoras fueron los objetos de fuego más comunes, seguidos por los hoverboards y las bicicletas eléctricas, ver Tabla 1.

En cuanto a la necesidad de atención médica, se indicó que 23 personas de 17 (4%) eventos diferentes buscaron atención médica. El personal de la ambulancia examinó in situ y completó el tratamiento de 39 personas de 19 (5 por ciento) eventos, que se consideró que podían hacer frente sin más atención médica. Nueve de ellos fueron del mismo incendio de la batería.

En total, 36 (9 por ciento) de los 402 eventos habían generado algún tipo de atención médica o contacto de ambulancia para un total de 62 personas. Los incidentes con bicicletas eléctricas representaron 11 (31 por ciento) de estos 36 incidentes. 16 (26 por ciento) de las 62 personas que tuvieron algún tipo de contacto con la atención médica habían inhalado el humo de un incendio en una bicicleta eléctrica.

Los hoverboards tuvieron la segunda frecuencia más alta de eventos en los que se consideró que existía la necesidad de un examen médico - ver Tabla 1.

Resumen

- La incidencia de incendios de baterías de iones de litio que llevaron a la intervención de los servicios de emergencia cada 13/millón de habitantes y año.
- Los teléfonos móviles y las tabletas fueron los que más incidentes causaron. • Bicicleta eléctrica y las baterías de hoverboard causaron la mayoría de los contactos médicos. • El contacto médico de algún tipo estuvo involucrado en apenas uno de cada diez incendios.



3.2 Datos del Servicio de Bomberos del Gran Estocolmo (SSB)

En un informe sobre los incendios relacionados con las baterías de iones de litio dentro del área de influencia de SSB de aproximadamente 1,4 millones de habitantes, se informaron 19 incendios (17 incendios en 2020 más 2 incendios en 2020-2019), véase la Tabla 2 (De & Wiberg, 2020).

Tabla 2. Objetos incendiarios en el estudio de SSB (From & Wiberg, 2020)

Asunto	Total events
Batería de bicicleta	7
Patin eléctrico	5
Pack energi	2
Coche Electrico	2
Teléfono móvil	1
Ordenador	1
Modelo radiocontrol	1
Total	19

Si los datos son representativos del número de incendios de baterías de iones de litio en la zona, la incidencia es de 12 por millón de habitantes al año (17 incendios, 1,4 millones de habitantes, año 2020).

Los incendios se han producido tanto durante la carga como durante la no carga, así como durante el uso del producto o después de un daño. Once (58 por ciento) de ellos ocurrieron en edificios de apartamentos múltiples y el resto en residencias privadas, hoteles, oficinas, etc. 57 por ciento de los incendios ocurridos en la propia residencia.

Se considera que los incendios surgieron a través de la llamada afluencia térmica, que generó un intenso desarrollo de energía, sin embargo, en tres casos el avance del incendio fue un proceso lento con desarrollo principalmente de humo.

Un incendio ocurrido en un banco de energía mientras se cargaba un teléfono móvil puede ser ilustrativo (From y Lindström, 2020). Estaba cargando en una cama donde se produjo un incendio durante el desarrollo de humo oscuro/negro y el fuego también se extendió al piso debajo de la cama. Dos personas de la familia habían recibido capacitación en protección contra incendios, pero no pudieron sofocar el fuego ni extinguirlo con una manguera de agua.

La gente tuvo que arrastrarse cerca del suelo para orientarse, porque el humo era muy espeso.

Una persona sufrió quemaduras y daños por humo y fue trasladada al hospital.

3.3 Validación de los datos de los MSB con respecto a las reclamaciones contra los datos de atención médica.

Una comparación entre estas fuentes de datos puede proporcionar una comprensión de la validez de los informes de respuesta de MSB en términos de datos sobre casos de lesiones personales. Las personas individuales no pueden ser identificadas en los informes de MSB. Sin embargo, al cotejar la hora y el lugar de la intervención con los datos correspondientes en el sistema de historia clínica de ambulancias de la unidad de gestión QBRNE; AISAB (Servicio de ambulancias en el área metropolitana de Estocolmo AB), pudo ser capaz de buscar la respuesta a cómo se evaluó la condición médica allí.

A continuación, encontrará lo siguiente para el período de tiempo en el que fue posible la coincidencia de febrero de 2019 a noviembre de 2021 (34 meses):

- Número de eventos reportados en los informes de respuesta de MSB en el Gran Estocolmo con lesiones personales especificadas: 26.
- Número de eventos correspondientes que también se encontraron en el registro médico de la unidad de gestión CBRNE: 12 (46 por ciento).

De esta manera, es posible realizar alguna validación de los casos de daños en los doce casos que se encuentran en ambos registros. Entonces se encuentran estos doce casos:

- Que en 11/12 casos los datos coincidan aceptablemente/bien con respecto a las reclamaciones y el nivel de atención. De 6 de estos 12 eventos, según los datos sanitarios, 14 personas fueron trasladadas al hospital. Los siguientes tenían lesiones leves, pero dos tenían quemaduras más graves y fueron clasificados como prioridad 1 según el llamado triaje de detección del sistema de salud.
- En un caso, los datos de MSB indicaron atención médica, mientras que los datos de CBRNE indicaron que no resultó herido, lo que implica que la persona en cuestión solo fue evaluada por el servicio médico de ambulancia en el lugar.

Al analizar los sesgos sistemáticos causados por la hora del día para las alarmas, no se encuentra ninguna diferencia notable entre los diferentes grupos a partir del emparejamiento de los 26 casos: • Diurno de 06:00 a 22:00 recibió 18 (69 por ciento) de las alarmas y nocturno de 22:00 a 06:00 recibió 8 (31 por ciento) del total de 26 alarmas. De los 12 casos que se encontraban en ambos registros, 8 (67 por ciento) se recibieron alarmas durante el día y 4 (33 por ciento) durante la noche. De los 14 que no se encontraron en los datos del CBRNE en el momento del emparejamiento, 10 (71 por ciento) se recibieron durante el día y 4 (29 por ciento) por la noche.

No ha sido posible llevar a cabo una revisión completa de los casos de lesiones de este tipo de eventos dentro del sistema de asistencia sanitaria de ambulancias en el Gran Estocolmo en el marco de este proyecto. Organización desfragmentada, GDPR, reglas de confidencialidad/decisión, así como una gran cantidad de registros repartidos en diferentes unidades ha contribuido a que esto sea prácticamente imposible de estudiar. Por supuesto, estos datos podrían haber contribuido aún más a validar la integridad de los informes del registro de acciones de MSB.

Resumen

1. * Todos los casos emparejados se clasificaron como leves, excepto dos que tenían Quemaduras causadas por el calor.
 - No se han notificado efectos sistémicos especiales relacionados con la IC (es decir, efectos sobre las características de los órganos internos).
 - Los informes de respuesta de MSB, que se compararon con los datos de la unidad de comando CBRNE, mostraron una buena validez en términos de los casos de lesiones personales.
 - La unidad de gestión del CBRNE en Estocolmo había participado en la mitad de los incidentes de daños notificados por los MSB en la misma zona.
 - No hubo un sesgo notable en la hora del día para los diferentes grupos en el partido.

4. Descripciones de casos

Una preocupación o una laguna de conocimiento ha sido que los presuntos gases agresivos del fuego constituirían un factor de riesgo significativo de consecuencias médicas graves. El riesgo a menudo se ha relacionado con la producción de varios compuestos de fluoruro de hidrógeno (HF) que surgen en caso de incendio en las baterías de iones de litio, que son sustancias altamente reactivas.

Recopilaciones de reclamaciones causadas por el humo de incendios de baterías de iones de litio en gran parte ausente en la literatura. El Centro Sueco de Información sobre Envenenamientos (GIC, por sus siglas en inglés) no ha anotado este problema de HF en su base de datos de eventos reales. Ni siquiera en Noruega, que tiene la mayor proporción de coches eléctricos en Europa, ha señalado el organismo correspondiente el alarmante problema. Por lo tanto, los organismos responsables no han observado ningún problema especial de este tipo ni en Suecia ni en Noruega.

A continuación se presentan los eventos reportados que están relacionados con un incendio de este tipo y que pueden causar una indicación de síntomas al exponerse al humo actual del incendio.

4.1 Incendio de bicicletas eléctricas – IVA care

Malmo; Una madrugada de octubre de 2018, la víctima (de 75 años), que se encontraba en el dormitorio de arriba, fue alertada por la alarma de humo. Estaba sentado en el hueco de la escalera entre la parte inferior y plantas superiores en su vivienda unifamiliar de 126 m². La causa fue el humo de una bicicleta la batería (Figura 1) que se incendió espontáneamente en la habitación de invitados (volumen 45 m³) en el piso inferior, a pesar de que no había sido cargada.

La batería (36 V) pertenecía a una bicicleta de la marca Orión de 2012. El humo se había propagado a través del lavadero (45 m³) al vestíbulo (18 m³) y a través de la cocina a la alarma de humo en las escaleras a la planta alta, es decir, estimada en un volumen de algo más de 300 m³. Cuando la víctima bajó y atravesó la cocina, se encontró con un humo tan denso en el pasillo que tuvo que andar a tientas a ciegas por el pasillo (3 metros) para llegar a la puerta principal. Todas las puertas del interior estaban abiertas. La víctima no hizo ningún intento de extinguir el fuego.

Respiró unas cuantas veces durante el paso a través del humo en la cocina y el pasillo y estima que el pasaje duró entre 1/2 y 1 minuto. Tuvo que toser por el humo, pero por lo demás se sintió bien cuando salió y le pidió al vecino que llamara a la alarma. Una ambulancia llegó al lugar en 10 a 15 minutos.

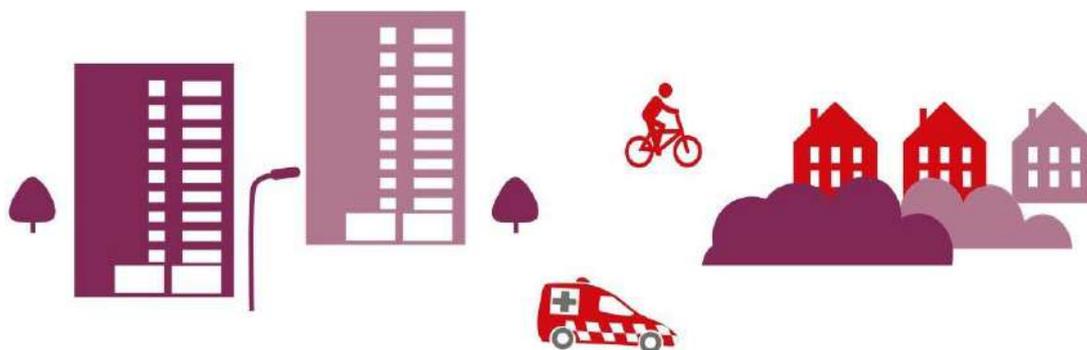


Figura 1. Imagen del "gemelo" de la batería marrón que se encontraba cerca de la marrón. Daños limitados en el piso donde estaba la batería quemada (Foto: Ulf Bergholm, investigador de accidentes de MSB).



Síntomas y medidas actuales; Tose inmediatamente después de la exposición al humo. Inicialmente no sentí la necesidad de transporte en ambulancia, sin embargo, 20-30 minutos después de la exposición al humo aparecieron nuevos síntomas en forma de vértigo rotatorio y visión borrosa. Se limpió principalmente quitándole la ropa antes de que lo llevaran a la ambulancia. Sin embargo, se describió un olor a humo muy fuerte en la ambulancia, por lo que el personal trabajó con ropa de protección química. Ya tratado en la ambulancia con oxígeno e inhalaciones repetidas (x 10) de cortisona. BT 139/70. La víctima luego se desinfectó aún más en el departamento de emergencias mediante lavado de cuerpo completo debido a un olor significativo a humo.

Tos intensa a la llegada y voz ligeramente gruesa. Fue intubado "profilácticamente" para asegurar la respiración. Inicialmente fue atendido en la UCI con un respirador. Los siguientes datos médicos de interés fueron:

Exámenes y observaciones urgentes; La broncoscopia (examen de las vías respiratorias) no tuvo nada de especial en un principio. Un poco más tarde, cuando se iba a insertar la sonda gástrica (sonda al estómago), se observó una fuerte hinchazón en la faringe y abundante mucosidad gelatinosa, por lo que fue difícil bajar la sonda. La radiografía de los pulmones mostró que había atelectasias (quistes pulmonares colapsados) en el lóbulo inferior izquierdo. Fue tratado con gluconato de calcio por inhalación, para reducir el daño mucoso causado por una posible inhalación de IC. Tenía orina de color rojo, que con toda probabilidad fue causada por Cyanokit® (antídoto para la intoxicación por HCN), administrado anteriormente en el curso. El electrocardiograma mostró fibrilación auricular (conocida desde antes) pero con frecuencia de cámara rápida = 107. Irrigación ocular repetida. Se le retiró el respirador después de poco más de un día y luego fue observado durante otros dos días antes de ser dado de alta.

Datos de laboratorio médico relacionados con la exposición al humo que puedan ser de interés (valores normales de laboratorio entre paréntesis); Los valores de iones de calcio en sangre estaban inicialmente alrededor del valor normal más bajo. P-Potasio en el límite normal superior.

P-lactato 4,4 (0,5-2,2) mmol/l. Exceso de Ecv-Base -6,0 (-3,0-3,0) mmol/l, es decir, acidosis metabólica leve. P-Mioglobina ligeramente elevada 141 (28-72) µg/l. Un único valor de CK a la llegada normal (1,4 µkat/l), P-creatinina 144 (60-105) µmol/l. Otros datos de laboratorio del IVA se encontraban dentro de límites normales. Oxigenación (oxigenación) esencialmente sin observación, tanto venosa como arterial.

Malestar persistente; Experimentó visión borrosa unos días después del episodio de atención. Fuerte dolor muscular en todo el cuerpo, pero principalmente en los músculos de los muslos, desapareció gradualmente en unos pocos meses. Dolores de cabeza explosivos y dolor en los oídos, dolores que desaparecieron gradualmente poco después del incidente. Nunca antes había tenido dolores de cabeza. La limpieza de la casa no fue satisfactoria y se percibió que el persistente olor a fuego causaba deterioro al regresar a casa. Esto retrasó meses el tiempo antes de que pudiera regresar.

Resumen; Es muy difícil sacar conclusiones definitivas de este único caso. Los síntomas respiratorios y oculares pueden indicar exposición a gases irritantes, incluida la IC. Nada en las pruebas de laboratorio, o en el curso clínico continuado, indica daño grave de la mucosa, o efectos sistémicos (influencia en las funciones de los órganos internos), causados por la IC. Es completamente adecuado tratar la vía aérea con aerosol de Gluconato de Calcio junto con broncodilatadores y antiinflamatorios según las recomendaciones del GIC. Sin embargo, ni el dolor de cabeza explosivo del paciente después del incidente, ni el dolor muscular restante, pueden explicarse fácilmente.

4.2 Dos casos en el centro de Suecia.

Una máquina de limpieza que cargaba en el sótano se había incendiado. Humo moderadamente denso (como niebla vespertina) cuando los servicios de emergencia llegaron al lugar. Dos personas sin protección respiratoria inhalaron el aire/humo durante 1 o 2 minutos. Una ligera sensación de ardor en la garganta se observó por la noche, pero no se han observado otros síntomas ni efectos a largo plazo.

Resumen

- Ni las autoridades suecas ni las noruegas han observado problemas particulares con el fluoruro de hidrógeno (HF) por inhalación del humo de las baterías de iones de litio.
- El humo del fuego contiene varios componentes irritantes, de los cuales el HF es uno.



5.

Recopilación de conocimientos.

5.1 Humo de incendio – varios componentes químicos del fuego en la batería de iones de litio

El humo de los incendios de baterías de iones de litio puede contener hidrógeno, metano, etano, etileno y propano, que son explosivos. El humo del fuego también contiene componentes corrosivos, tóxicos y asfixiantes (Willstrand et al., 2020). La formación de gases tóxicos (venenosos) es más pronunciada durante la combustión con bajo contenido de oxígeno y la pirólisis (Helsebiblioteket, 2021).

5.1.1 Características técnicas de la batería

Lo último y la mayoría de los tipos de celdas modernas, que tienen un contenido de energía superior, hoy en día se conocen comúnmente como baterías de iones de litio. Las pilas de botón pequeñas llamadas pilas de litio no se discuten aquí. Las baterías de iones de litio pueden tener diseños muy diferentes según la aplicación y las preferencias del fabricante, pero a menudo contienen:

- Ánodo (menos electrodo), hecho de cobre que generalmente está recubierto con carbono amorfo, grafito, grafeno o una mezcla.

de estos.

- Un cátodo (más electrodo) de aluminio que se puede recubrir con un material de óxido, que puede constar de muchos componentes diferentes, tales como: níquel / manganeso / óxido de cobalto, níquel / cobalto / óxido de aluminio, óxido de fosfato de hierro, óxido de titanio.
En el medio, los electrodos están delimitados por un separador sembrado con un polímero.
- A continuación, la célula se llena con un electrolito orgánico de, por ejemplo, carbonato alquídico, donde se disuelve en el electrolito un óxido de litio en forma de sal.

Una celda de batería contiene una reserva de energía químicamente combustible y una reserva de energía electroquímica, **además de una variedad de sustancias oxidantes de las que** se puede liberar oxígeno si se calienta la celda. Tal caso puede ser lo que se llama fiebre térmica y puede activarse, por ejemplo, por penetración mecánica o temperaturas superiores a 150-190 grados centígrados. Lo que sucede entonces es que la energía electroquímica Actúa como un "fósforo" y enciende el electrolito. Al mismo tiempo, se libera oxígeno de las sustancias oxidantes. Además, el carbono amorfo, el grafito, el grafeno o una mezcla de estos ayudan a impulsar la fiebre térmica.

Un inventario exhaustivo del estado de los conocimientos técnicos se presenta en dos informes RISE (Institutos de Investigación de Suecia). Uno incluye, entre otras cosas, 250 referencias técnicas en el campo (Bisschop, Willstrand, Amon, Rosengren, 2019) y el otro describe en detalle el estado de los conocimientos sobre los gases de fuego, la extinción, etc. (96 referencias) (Willstrand et al., 2020).

5.1.2 Descarga térmica en una batería de iones de litio

Los fabricantes de vehículos siguen una serie de normas y reglamentos, lo que significa que sus sistemas de baterías están bien probados y que el sistema de monitorización de la batería maneja los parámetros necesarios para una buena seguridad (cf. Hasvold et al., 2007).

La seguridad es probablemente significativamente menor en baterías más pequeñas, como las de bicicletas, hoverboards, etc. (Hoverboard perfecto, 2021).

En caso de incendio, las celdas de iones de litio emiten gases ligeros y pesados de color gris claro, así como gases oscuros, casi negros, con una gran proporción de carbono amorfo y grafito. Los gases pesados son relativamente inflamables y se puede ver cómo se "arrastran" por el sustrato. Los gases ligeros parecen más ingravidos y siguen la dirección del viento.

Las celdas de iones de litio también pueden "gasear" sin fuego y entonces existe el riesgo de una ignición repentina de los gases y tal vez una explosión, lo cual es valioso que el personal de rescate sepa. La reignición puede ocurrir incluso si al parecer, las llamas abiertas se han extinguido en un incendio de batería. Entonces es importante continuar enfriando la batería. Se recomienda una cámara térmica para registrar la actividad térmica en la batería.

No se sorprenda si la actividad térmica continúa durante mucho tiempo después de la extinción. Las pruebas realizadas en condiciones controladas en baterías de tracción para automóviles han mostrado temperaturas cercanas a los 500 grados centígrados durante varias horas, por lo que es importante enfriar y vigilar si la temperatura baja antes, por ejemplo, de llevar a cabo la recuperación de un vehículo.

Leer más:

PO Malmqvist (2021), Utkiken, MSB, ha producido una película informativa sobre el fuego en las baterías de iones de litio que se puede encontrar aquí [recuperado: 2021-01-31].

5.1.3 Sustancias y componentes combustibles en vehículos y baterías de iones de litio

Lo que ocurre comúnmente Los líquidos químicos en un automóvil también contribuyen al incendio de un vehículo, es decir, el líquido limpiaparabrisas, el glicol, el líquido de frenos y aire acondicionado, así como el aceite hidráulico y de motor. Estos líquidos añaden energía al fuego, especialmente a altas temperaturas en el transcurso del fuego. En cuanto a la toxicidad, todos los gases de incendio que salen del vehículo se puede considerar que tienen un alto grado de toxicidad. El humo del fuego contiene componentes como HF, HCl (ácido clorhídrico), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono) y una pequeña cantidad de gases nitrosos (NO_x), además de algunos metales (Zn, Pb, Cu) pueden estar presentes (Willstrand et al., 2020).

Lecoq et al. (2012) informaron de una comparación entre dos vehículos del mismo modelo y marca, uno de los cuales tenía un sistema e-híbrido y el otro solo un motor de combustión normal. Se probaron dos marcas diferentes, es decir. Un total de cuatro coches. El fuego se propagó desde el habitáculo. Hubo un pico de HF al principio de la progresión del fuego en ambos modelos, seguido 20-25 minutos más tarde por picos cuando la batería de transmisión se incendió en el modelo e-hybrid. La cantidad total de HF fue de 2 a 2,5 veces mayor en los coches con propulsión e-híbrida. Sin embargo, en función de la situación actual, se probaron baterías de accionamiento pequeño, de 15,5 y 23,5 kWh respectivamente (Lecoq et al., 2012). También se han llevado a cabo pruebas de fuego en RISE por Willstrand et al. (2020). En la Tabla 18, se indican múltiples cantidades de HF en los vehículos eléctricos en comparación con los automóviles con motores de combustión interna, pero pequeñas cantidades de HCN en ambos. La IC y el HCl alcanzaron niveles "peligrosos para la salud" más rápidamente.

5.1.4 Refrigerante en vehículos

La presencia de refrigerante R134a y, en vehículos más nuevos, R1234yf, que constituyen fluidos comunes de aire acondicionado, ha recibido cierta atención. Daimler AG y las autoridades alemanas han planteado preocupaciones sobre la producción de gases tóxicos en caso de incendio (la temperatura de ignición del R1234yf es de 410 grados Celsius) (Krafftahrt Bundesamt, 2013). Se han realizado pruebas de fuego de R1234yf en FOI Umeå que muestran la presencia de, entre otras cosas, fluoruro de hidrógeno (HF) (Magnusson et al., 2016).

5.1.5 Detalles interiores

Además Los detalles interiores hechos de varios plásticos (ABS y PVC) y poliuretano en los asientos, pegado, etc. desarrollan gases tóxicos (venenosos) cuando se queman, incluido el cianuro de hidrógeno (HCN) (Departamento de Transporte de EE. UU., 1991).

5.1.6 Imprimación y protección contra el óxido

La protección contra la oxidación de los vehículos modernos se ha mejorado significativamente en comparación con los vehículos de los años 80 y anteriores. La protección contra el óxido se construye con algo llamado "inmersión ED". Una de las capas intermedias es a base de poliuretano para dar un efecto de relleno. Sin embargo, el poliuretano puede desarrollar cianuro de hidrógeno (HCN) cuando se calienta a temperaturas alrededor de 150 grados centígrados y más. Esto también se aplica al pegamento que se utiliza, por ejemplo, para pegar el parabrisas a la carrocería.

5.1.7 Materiales compuestos como la fibra de carbono

Se puede esperar que la fibra de carbono produzca las llamadas nanopartículas que pueden ser inadecuadas para la inhalación, pero no se tratan en profundidad aquí. Véase también una guía sobre el manejo de compuestos de fibra de carbono en caso de accidentes (MSB, 2021), así como Bisschop et al. (2019) y Westman (2021). Se recomienda la protección respiratoria contra las fibras transportadas por el aire después de, por ejemplo, daños o incendios en compuestos de fibra (Bisshop et al., 2019).

5.1.8 Futuras baterías de accionamiento eléctrico

En el momento de escribir este artículo, se está investigando en un amplio frente para desarrollar las baterías de accionamiento eléctrico del futuro, que tienen una mayor densidad energética que las baterías actuales. Hoy en día, las celdas de iones de litio tienen un contenido de energía que corresponde a una quincuagésima parte (1/50) del contenido de energía de los combustibles fósiles por kilogramo.

5.2 Efecto fisiológico en humanos

5.2.1 Calor

Efecto general del calor en el cuerpo: Una persona sin ropa u otra protección puede soportar permanecer en aire seco a temperaturas de hasta +120 grados centígrados durante unos minutos. El límite correspondiente para el aire saturado con vapor de agua es más bajo, alrededor de + 80 grados centígrados. En el caso de un incendio en el compartimiento del motor en un automóvil moderno, se puede esperar que pasen de 3 a 5 minutos (comunicación personal M. Lindkvist) antes de que el fuego llegue al compartimiento de pasajeros. La temperatura en el fuego puede ser muy alta, tan alta que el metal se derrite.

En el caso de los incendios, las quemaduras se producen principalmente por la radiación de calor y el contacto con objetos, líquidos o gases calientes. La radiación de calor disminuye con la distancia a la fuente.

Los objetos entre la fuente de radiación y la persona que está siendo irradiada pueden proyectar una "sombra". Por lo tanto, la ropa puede proporcionar cierta protección durante un tiempo limitado.

La piel: La conducción (conducción de calor) se produce si un objeto caliente entra en contacto directo con la piel contacto con la piel. La convección significa que el calor se transporta utilizando aire caliente o gases de combustión. La cantidad de calor transferido depende de la temperatura del aire/gas, la velocidad de movimiento y la humedad, así como del tiempo de exposición y de la ropa protectora.

Las vías respiratorias: En general, se puede decir que si una persona no tiene quemaduras en la cara, u hollín alrededor de las vías respiratorias, el riesgo de quemaduras en las vías respiratorias es relativamente bajo. Si, por el contrario, la cara, especialmente alrededor de la nariz y la boca, tiene quemaduras, es posible que las vías respiratorias se hayan dañado por el calor. El aire caliente seco tiene una baja capacidad de transporte de calor y rara vez causa quemaduras debajo de la tráquea, pero se produce hinchazón y dificultades respiratorias en las partes superiores. El vapor de agua caliente contiene una mayor cantidad de calor y, por lo tanto, puede causar daños más abajo en los pulmones.

La insuficiencia respiratoria (insuficiencia respiratoria) puede ocurrir minutos u horas después de la exposición al humo del fuego. A menudo es difícil distinguir entre lo que es un efecto del calor y lo que es un efecto de los gases tóxicos e irritantes y el hollín. Los efectos de las quemaduras cutáneas grandes también pueden afectar secundariamente a la respiración.

5.2.2 Quemadura: extensión y profundidad

Al evaluar una quemadura, la extensión, hay que tener en cuenta la profundidad y la ubicación de los daños. La edad de la víctima de la quemadura y otras lesiones y enfermedades también son importantes para el tratamiento y el pronóstico.

En los adultos, la **propagación de los** daños por quemaduras puede calcularse aproximadamente utilizando la llamada regla del 9. La cabeza constituye el 9 por ciento, la parte posterior y frontal del torso el 18 por ciento cada una, cada brazo el 9 por ciento, cada pierna el 18 por ciento y los genitales el 1 por ciento de la superficie corporal. Una palma es aproximadamente el 1 por ciento.

La profundidad de la quemadura puede ser difícil de determinar en la fase de emergencia. La apariencia de la lesión y la forma en que la superficie de la herida responde a los estímulos de presión y dolor, le ayuda un poco. En una quemadura epidérmica superficial (a veces llamada quemadura de primer grado), solo se daña la epidermis. La piel está enrojecida, hinchada y sensible, **pero sin ampollas**. Una quemadura parcial de la piel (puede dividirse en daño parcial superficial y profundo de la piel, a veces llamada quemadura de 2º grado) incluye la epidermis y la dermis. Este daño produce una reacción inflamatoria en forma de hinchazón, enrojecimiento, sensibilidad, **ampollas** y la descomposición celular superficial.

Una quemadura completa de la piel (a veces llamada quemadura de 3º grado) implica una descomposición de todas las capas celulares de la piel, incluidas las células del dolor y los vasos sanguíneos. La piel es **de color marrón pálido y pergamino** y el paciente no reacciona a los estímulos dolorosos.

La ubicación de la quemadura es de gran importancia. Las quemaduras en **las vías respiratorias son muy graves** y pueden hacer que las vías respiratorias se hinchen nuevamente y obstruyan la respiración. Se puede decir que las quemaduras parciales y totales de la piel que cubren más del 50 por ciento de la superficie corporal son potencialmente mortales.

5.2.3 El impacto médico de los gases de fuego

5.2.3.1 General

La exposición al humo del fuego es una causa común de muerte en incendios en interiores, en aviones o barcos. El efecto agudo de los gases de fuego consiste en parte en un efecto asfixiante, es decir, provocan una falta de oxígeno en las células del cuerpo. Además, muchos componentes del gas tienen un efecto tóxico o irritante. Tres mecanismos importantes, a menudo cooperativos, que causan:

La deficiencia de oxígeno es: 1. Bajo nivel de oxígeno nivel en el aire inhalado, 2. Bloqueo de la absorción de oxígeno en los glóbulos rojos (monóxido de carbono CO), 3. bloqueo de la respiración celular (cianuro de hidrógeno HCN).

Los efectos de la acción de los distintos componentes se suman más o menos. En caso de exposición masiva, puede existir, por supuesto, una situación con una dosis letal de varios componentes.

Sin embargo, es probable que haya casos límite en los que la eliminación de uno o más componentes contribuya a la supervivencia. Una dificultad puede ser identificar la contribución de diferentes componentes en caso de exposición/envenenamiento por gases de combustión. Aquí, se describen en primera instancia los componentes que pueden ser influenciados con un tratamiento de emergencia adecuado.

Por lo tanto, tanto el CO como el HCN inhiben la oxigenación de las células del cuerpo.

Tenga en cuenta que estos pacientes pueden parecer engañosamente frescos, ya que el CO le da un "color rojo cereza" a la sangre y, por lo tanto, uno puede engañarse pensando que el paciente está bien oxigenado. HCN significa que las células del cuerpo no pueden asimilar el oxígeno de la sangre, lo que también puede dar la impresión de que la persona afectada está bien oxigenada.

Sin embargo, el paciente envenenado con cianuro también puede dar una impresión cianótica (pobre en oxígeno), lo que complica la evaluación (Curry y Spyres, 2015).

Los síntomas de la exposición a los gases de fuego son los siguientes:

- Dolor e irritación en los ojos y problemas de visión, lo que puede limitar las posibilidades de abandonar el lugar.
- Dolor en las vías respiratorias y en el pecho. En el peor de los casos, riesgo de edema pulmonar, es decir, desbordamiento de líquido en los pulmones.
- Efectos sobre la conciencia debido a la falta de oxígeno, así como a los gases de fuego tóxicos e irritantes.
- Quemaduras en la piel sin protección y en las vías respiratorias a altas temperaturas de gas.

Los gases de incendio pueden contener componentes corrosivos y tóxicos de muchas sustancias de combustión diferentes. Todo esto puede contribuir a empeorar la situación ejerciendo lo que la falta de las causas del oxígeno. Para obtener inicialmente una hipótesis sobre el contenido de los gases de combustión, **se puede "leer el fuego"**, es decir, evaluar lo que se está quemando (véase la sección 5.1).

Con base en esta información sobre el incendio, puede obtener una base para una evaluación primaria de los componentes tratables con los que está tratando.

La gravedad de la afectación de la víctima está determinada por la concentración de la sustancia en los órganos diana del cuerpo y el tiempo que se mantienen las concentraciones tóxicas.

La cantidad de ventilación (**profundidad y frecuencia respiratoria**) es importante. También debe tenerse en cuenta la velocidad a la que la sustancia nociva puede ser absorbida por el cuerpo y la duración de la exposición. El efecto puede aparecer rápidamente, como en el caso del HCN (segundos-minutos), o retrasarse durante horas, como en el caso de los gases nitrosos.

Los efectos combinados son, por supuesto, difíciles de diagnosticar.

Componentes de gas que es importante tener en cuenta para controlar de forma óptima un tratamiento son, por ejemplo, monóxido de carbono (CO), cianuro de hidrógeno (HCN), fluoruro de hidrógeno (HF),

ácido clorhídrico (HCl), gases nitrosos (NOx), dióxido de azufre (SO₂), por nombrar algunos, por lo que **el tratamiento correcto y óptimo del primero ya en el área de daño es de gran importancia para el resultado.**

La intoxicación por HF en caso de incendio de un coche eléctrico no está descrita básicamente en la literatura científica médica (Westman, 2021). En las recomendaciones de tratamiento de la Información Noruega sobre Envenenamientos (Helsebiblioteket, 2017, 2021), el problema ha sido bien descrito y las recomendaciones son en líneas generales las mismas que las del GIC sueco, cuyas recomendaciones se describen en este informe.

A continuación, se destacan algunas afecciones prehospitalarias tratables que, con el tratamiento adecuado, pueden contribuir a aumentar las posibilidades de supervivencia de quien las padece.

Leer más:

El contenido factual procede del apoyo a la toma de decisiones de la MSB y del Centro Sueco de Información sobre Donaciones (GIC).

5.2.3.2 Falta de oxígeno en caso de incendio

En una habitación cerrada, puede producirse una falta de oxígeno porque el fuego consume oxígeno. Esta deficiencia puede exacerbarse cuando se utilizan agentes extintores que desplazan el oxígeno, como Novec 1230. El aire normal contiene un 20,9 por ciento de oxígeno. El cuerpo puede manejar una cierta bajada. No ha sido posible mostrar ninguna alteración grave en la función cerebral con un 15 por ciento de oxígeno en el aire respirable. Sin embargo, a niveles más bajos de oxígeno, la función cerebral comienza a deteriorarse. Con un 14,4-11,8 por ciento de oxígeno en el aire ambiente (equivalente a la presión en altitudes entre 3.000 y 4.500 metros de altitud), la respiración y la frecuencia cardíaca comienzan a aumentar **y el juicio y la capacidad máxima de trabajo se reducen.** Oxígeno manifiesto La deficiencia se produce al 11,8-9,6 por ciento de oxígeno en el aire circundante, lo que corresponde a la presión parcial de oxígeno en altitudes entre 4.500 y 6.000 m. Los síntomas consisten en un claro deterioro de los procesos mentales superiores y del control neuromuscular. El juicio se ve afectado. La actividad cardíaca y la respiración aumentan. Se produce una deficiencia crítica de oxígeno al 9,6-7,8 por ciento de oxígeno en el aire circundante, lo que corresponde a una altitud de 6.000-7.600 m.

En este nivel se produce la opacidad, la pérdida de conciencia, el cese de la respiración, la insuficiencia circulatoria y la muerte.

Tratamiento: Si la conciencia está afectada, administre oxígeno al 100 por ciento, preferiblemente con presión positiva (CPAP o intubación). En caso de síntomas leves, se puede administrar oxígeno en una máscara o cabestro.

5.2.3.3 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono desaloja las moléculas de oxígeno de la hemoglobina en los glóbulos rojos. Esto se debe a que el CO se deposita en la hemoglobina > 200 veces más fácilmente que las moléculas de oxígeno. De este modo, se forma carboxihemoglobina (COHb), que no puede transportar oxígeno. Sin embargo, el COHb le da a la sangre un color engañoso de "rojo cereza". Se estima que el envenenamiento por CO contribuye a una proporción significativa de las muertes relacionadas con incendios. Concentraciones de > 1.000 ppm de CO en el aire respirable producen síntomas como dolor de cabeza, mareos, náuseas, desmayos y, en casos más graves, coma e insuficiencia respiratoria, dependiendo de la concentración de CO y del tiempo. Durante la fase activa de un incendio y en relación con la extinción de incendios, pueden producirse niveles de muchas decenas de miles de ppm. Los niños reaccionan más negativamente al monóxido de carbono que los adultos.

Propiedades de CO:

- El CO es ligeramente más ligero que el aire.
- El CO también se une a la mioglobina que se encuentra en las células musculares, así como a citocromo C en las mitocondrias (la fábrica de energía de la célula). El corazón y el cerebro se ven particularmente afectados por el envenenamiento por CO.
 - El CO se exhala a través de los pulmones y la velocidad a la que se elimina el CO está relacionada con la presión de oxígeno en el ambiente.

Tratamiento: En aire normal, el contenido de CO en el cuerpo se reduce a la mitad en 3-4 horas.

Si la víctima recibe oxígeno al 100 por ciento, este tiempo se reduce a 30-40 minutos.

Dicho tratamiento requiere una mascarilla completamente ajustada y normalmente debe administrarse durante al menos 6 horas. Si se puede administrar oxígeno a una presión de 2,5 atmósferas en una cámara de presión, la vida media se reduce a 22 minutos.

5.2.3.4 Cianuro de hidrógeno (HCN)

El HCN es altamente tóxico. Su descubridor, el famoso químico sueco CW Scheele, dejó caer accidentalmente una botella al suelo en 1786 y estuvo expuesto al HCN, lo que le provocó la muerte. El HCN en forma de ácido cianhídrico se utilizó en las cámaras de gas durante la década de 1940 con el nombre de Zyklon B.

El cianuro de hidrógeno (HCN), puede desarrollarse en un incendio de apartamento a partir de, por ejemplo, poliuretano (que a menudo se encuentra en la tapicería de muebles), melamina, plásticos, encimeras laminadas, algodón, lana, etc. En las pruebas de fuego en automóviles, el HCN surgió principalmente durante el calentamiento/combustión de poliuretano de la tapicería de los asientos, así como del pegamento y barniz intercalar de la chapa de la carrocería. El HCN también puede liberarse durante un incendio en baterías de iones de litio (Meraner et al., 2021; Willstrand et al., 2020).

El HCN es un gas incoloro que es **más ligero que el aire** y en forma pura tiene un olor amargo parecido a la almendra, que, sin embargo, no se puede distinguir en el humo del fuego. Además, una cierta parte de la población tiene una disposición genética, lo que significa que no se puede sentir este olor/sabor. El punto de ebullición es de 25,7 grados centígrados.

El mecanismo de acción es brevemente el siguiente. Cuando el HCN llega a los pulmones, la sustancia pasa a través de los alvéolos y a través de las arterias del torrente sanguíneo a las células del cuerpo.

Allí, la llamada cadena de transporte de electrones se bloquea en las mitocondrias (que son las productoras de energía de la célula). Entonces la producción normal de energía de las células se apaga y dejan de funcionar, lo que es de particular importancia para las células del cerebro, el corazón y el hígado (Anseeuw, Delvau, Burillo-Putze et al., 2013). Dado que el oxígeno no se consume en las células, esto significa que la sangre venosa puede contener más oxígeno de lo habitual cuando regresa al corazón.

Toxicidad; La concentración letal en 10 minutos es de 181 ppm, la muerte instantánea: 270 ppm. Según la Autoridad Sueca del Entorno de Trabajo (2018), el valor máximo de exposición durante un máximo de 15 minutos es de 3,6 ppm (4 mg/m³).

Se debe sospechar la influencia del HCN en el caso de un incendio que produzca HCN ("lea el fuego") y cuando la víctima tiene hollín alrededor de la nariz y en las vías respiratorias. Cuando se inhala, los síntomas pueden aparecer en segundos, pero también pueden tardar unos minutos. En los casos leves (nivel de conciencia según la escala de coma de Glasgow GCS \geq 14) hay dolor de cabeza, opacidad, hiperventilación (aumento de la frecuencia respiratoria), disnea (respiración dificultosa) y posible sabor/ olor a almendras amargas o metal. En los casos más graves, se produce una piel fría y húmeda, que aumenta pérdida del conocimiento. La intoxicación moderada (GCS 10-13) y la intoxicación grave (GCS \leq 9) significan, además de aumentar la pérdida de conciencia, también un aumento del riesgo de convulsiones alteraciones circulatorias, insuficiencia respiratoria y edema pulmonar

(Anseeuw et al., 2013). Debido a que la sangre no ha suministrado oxígeno a las células, la sangre venosa que se ve en las membranas mucosas y en el lecho ungueal tiene un color más rojo de lo habitual. Sin embargo, en el caso de falta simultánea de oxígeno y/o impacto circulatorio, la persona afectada a veces puede mostrar cianosis (signo de falta de oxígeno), por lo que la condición puede ser difícil de evaluar, lo que además, enfatiza la importancia de la información sobre lo que se está quemando, es decir, de "leer el fuego".

Tratamiento: Según recomendación del GIC, el inconsciente (GCS \leq 13), al paciente adulto, en caso de incendio en el que exista riesgo de exposición al HCN, se le administra hidroxocobalamina (Cyanokit®) – 5 g 200 ml de NaCl en perfusión durante 15-30 minutos. Cuanto antes entregue cuanto mejor sea el antídoto, es decir, preferiblemente en la zona de la lesión.

Si el compromiso circulatorio grave (shock/paro cardíaco) o el coma (GCS \leq 9) no se resuelven con 5 g, se puede repetir la dosis.

Una alternativa es el tiosulfato de sodio 150 mg/ml – 100 ml IV administrado durante 5-10 minutos. Esta opción es más barata, pero significativamente menos efectiva que Cyanokit®.

Anteriormente se ha recomendado precaución en la reanimación cardiopulmonar debido al temido contenido de HCN en el aire exhalado. Sin embargo, este riesgo se evalúa como muy bajo, cuando la exposición se produjo a través del humo del fuego.

5.2.3.5 Fluoruro de hidrógeno (HF)

Esta sección es un extracto del "Apéndice", que es una recopilación exhaustiva de conocimientos de los efectos médicos de la HF tanto en forma líquida como gaseosa, que fue escrito por el médico jefe Erik Lindeman, Centro de Información sobre Envenenamientos.

Leer más

HF tiene propiedades potencialmente desagradables. Sin embargo, el HF en forma de gas de incendio rara vez parece alcanzar niveles tan altos que puedan representar una amenaza para los humanos. Ver Película instructiva de Gunnvall, Molander, Lindeman (2021).

La presencia de HF en el humo de las baterías de iones de litio ha atraído mucha atención tanto en los medios de comunicación como entre las autoridades y las organizaciones de rescate.

En los últimos años, el Centro de Información sobre Venenos (GIC) ha sido contactado repetidamente por los servicios de rescate, que han expresado su preocupación e incertidumbre sobre los riesgos que representa el humo de los incendios por la quema de baterías durante los trabajos de rescate y extinción. Sin embargo, no se ha **consultado al GIC en un solo caso en el que la** exposición al humo del fuego haya provocado síntomas de intoxicación **que pudieran considerarse indicativos de un efecto tóxico (venenoso) de la IC**. Tampoco el monitoreo del medio ambiente por parte de GIC ha indicado que HF en el humo de la quema de baterías de iones de litio plantea un problema toxicológico agudo en particular.

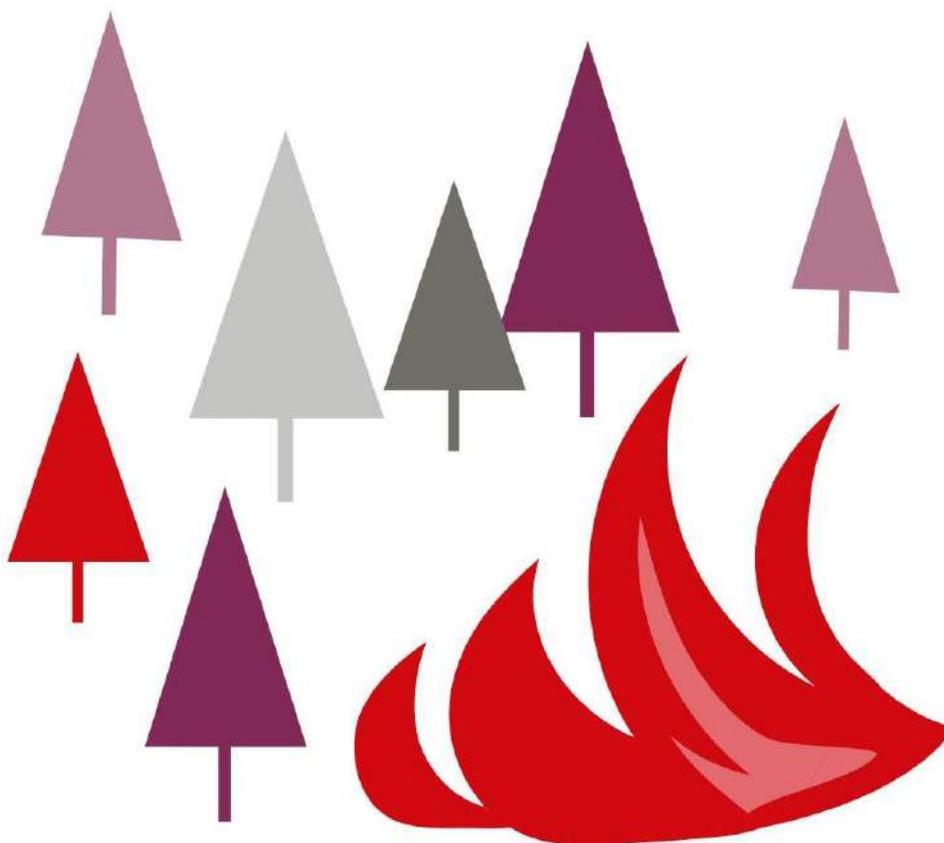
El HF puede formarse en un incendio que gasifica el electrolito de las baterías de iones de litio, así como en un incendio en otros productos que contienen compuestos de flúor (por ejemplo, fluidos de aire acondicionado o sistemas de extinción de incendios). El HF se presenta entonces como uno de los muchos componentes tóxicos e irritantes en el humo del incendio y no está claro hasta qué punto el HF contribuye a aumentar significativamente la toxicidad del humo.

Datos básicos sobre las concentraciones: El límite de detección para el olor acre característico de la HF gaseosa es de 0,02-0,13 ppm y las pruebas de exposición humana han demostrado que la irritación ocular y respiratoria se hace evidente a 5 ppm, pero que los niveles de hasta aproximadamente 30 ppm "pueden ser tolerado" (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, 2014).

Concentración de HF en el humo de incendio de las baterías de iones de litio: en las mediciones en el humo se han medido concentraciones de HF de 150-450 ppm durante picos a corto plazo, mientras que los niveles durante la mayor parte del curso del incendio son alrededor o por debajo de 50 ppm (Truchot et al., 2018; Larsson, Andersson, Blomquist, Mellander, 2017). En el caso de un incendio de la batería en un espacio cerrado, es concebible que surjan concentraciones más altas, pero los estudios empíricos publicados no indican que esto ocurra en la práctica. En un estudio realizado para MSB, se descubrió que era imposible alcanzar niveles detectables de HF gaseoso en un recipiente de prueba lleno de humos de dos baterías de iones de litio sometidas a fuga térmica (Wingfors et al., 2021). Una explicación para este hallazgo podría ser que la reactividad química del HF gaseoso significa que el gas se une rápidamente a varias superficies a las que está expuesto y, por lo tanto, desaparece de la atmósfera.

Este fenómeno se ha demostrado en un estudio holandés en el que el humo de cinco baterías de iones de litio se dirigió a una pequeña carpa de humo. Los niveles de HF gaseoso cayeron de las 100 ppm iniciales a 5 ppm en 20 minutos – véase también la Figura 3 en la pluma de van Veen y Kop de referencia (2020). El estudio holandés también plantea preguntas sobre las cantidades absolutas de HF generadas en el humo de la combustión de baterías de iones de litio. El importe total del ion fluoruro en las superficies más contaminadas de la carpa de humo (después de encender ocho baterías de iones de litio) ascendió a una cantidad baja de 220 µg/10,0.

Resumen: Las bajas concentraciones de HF que parecen ocurrir en la práctica en los incendios de baterías de iones de litio hacen que sea poco probable que el HF gaseoso haga que el humo de estos incendios sea significativamente más tóxico que el humo de otros incendios. La alta sensibilidad de los seres humanos incluso a pequeñas cantidades de HF gaseoso en el aire inhalado hace inconcebible que las concentraciones potencialmente tóxicas agudas (>50-100 ppm) puedan pasar desapercibidas. La IC gaseosa no puede causar edema pulmonar como



sólo síntomas y se excluye que la exposición al humo de la combustión de baterías de iones de litio pueda dar lugar a toxicidad sistémica (es decir, efecto tóxico en los órganos internos del cuerpo), como un ataque cardíaco.

Tratamiento: En caso de exposición grave con síntomas de las vías respiratorias, el tratamiento habitual (broncodilatador y antiinflamatorio) puede complementarse con la inhalación de aerosol nebulizado, es decir, finamente dividido, de gluconato de calcio, que es un antídoto contra la IC. Póngase en contacto con el Centro de Información sobre Venenos para obtener asesoramiento.

5.2.3.6 Información general sobre otros gases de incendio

En los hogares y vehículos modernos, cada vez se utilizan más materiales que pueden dar lugar a componentes malignos en los gases del fuego. En las pruebas de fuego con vehículos eléctricos y en los incendios de baterías, se ha identificado un amplio espectro de diferentes componentes de gas que son desfavorables cuando se inhalan. Como ejemplos, además del CO, se pueden mencionar el HCl (ácido clorhídrico), el NOx (óxidos de nitrógeno), el SO2 y diversos compuestos de hidrocarburos (Lecocq et al., 2012; Willstrand, 2020). Además, los gases explosivos como el H2 (gas hidrógeno) también pueden formarse en caso de incendio en una batería de iones de litio, según Meraner et al. (2021). Metal sustancias son más un problema para el medio ambiente que un problema agudo de salud, según a Willstrand et al. (2020).

Tratamiento: La inhalación de gases de incendio se trata de acuerdo con el consejo estándar con la adición de un tratamiento especial para la exposición a HCN y HF (consulte "Recuerde para el personal de emergencia" en la página 5). El tratamiento debe iniciarse prehospitalariamente y las consecuencias más graves deben tratarse con una asistencia sanitaria cualificada.

Summary

- Muchos componentes corrosivos y tóxicos se producen en relación con el incendio de las baterías de iones de litio.
- Es importante "leer el fuego" para poder inferir de esta manera qué componentes especiales tratables son probables.
- Los componentes de gas corrosivo son tratamiento médico muy parecido al asma con broncodilatadores y agentes antiinflamatorios.
- Existen buenos antídotos contra componentes especiales como HCN y HF.



6. Resumen y discusión

Según las estadísticas de respuesta de MSB para los servicios de emergencia en los años 2018-2020 por incendios en baterías de iones de litio, la incidencia fue de 13 respuestas por millón de habitantes por año. Las causas más comunes fueron el incendio en teléfonos móviles/tabletas de lectura/ordenadores, hoverboards, eléctricos y patinetes. El fuego en baterías más grandes, como en estas últimas, proporcionaba la mayor necesidad de evaluación médica.

Sin embargo, no se registró ningún caso de incendio en un coche/vehículo eléctrico con sospecha de inhalación de gas humo. La cantidad y el contenido de los gases de humo dependen de la marca y el tamaño de la batería, de lo que se incendia a su alrededor y de la duración del desarrollo del humo (Bisschop et al., 2019; Willstrand, 2020). En algunos eventos, se observan explosiones, lo que indica la presencia de gases explosivos (cf. Meramer et al., 2021). Sin embargo, es común que los gases del fuego contengan una serie de componentes tóxicos y corrosivos complejos que pueden afectar negativamente a la persona que inhala los gases (Willstrand et al., 2020).

En poco menos de uno de cada diez incidentes, las personas afectadas recibieron evaluación médica, según datos de MSB. En la mitad de estos casos, se declaró que se había solicitado un centro médico (4 por ciento), mientras que en la otra mitad (5 por ciento) de los casos, el personal de la ambulancia en el lugar hizo una evaluación de la condición y que no era necesaria una evaluación médica adicional.

Al validar el esfuerzo de atención declarado en las estadísticas de la MSB con los datos médicos de la unidad de gestión CBRNE en el Gran Estocolmo, para un número limitado de casos, los datos de la MSB demostró correlacionarse bien con la atención médica en casi todos los casos. De los que fueron trasladados a un centro médico (14 personas), todos sufrieron heridas leves, excepto dos a los que se les dio prioridad roja (prioridad 1) debido a quemaduras graves. No hay lesiones relacionadas con la Los efectos (efecto sobre los órganos internos/circulación), causados por la inhalación de IC, no se habían registrado en los datos médicos de la unidad de gestión para el grupo emparejado.

Por lo tanto, esta validación indica que los datos de los MSB proporcionaron una buena idea de la necesidad de atención médica en los casos emparejados. Se considera que el hecho de que la unidad de gestión CBRNE no dispusiera de datos para la mitad de los casos notificados en los datos de los MSB se debe al hecho de que no se alerta a todos los incidentes, o a que había otra unidad de ambulancias en el lugar.

No se pudo identificar ninguna diferencia sistemática en función de la hora del día. Se han observado problemas similares en el Kemambulansen de Perstorp (Björnstig, Westman, Saveman, Björnstig, 2020). Sin embargo, no ha sido posible investigar si la atención de salud en general manejó casos que Los datos de los MSB no se reportaron, debido a las complicadas reglas de confidencialidad/decisión, organización desfragmentada, etc.

Ni el Centro Sueco de Información sobre Envenenamientos ni el equivalente noruego han observado ningún caso con efectos sistémicos típicos de la IC (en los órganos internos y la circulación), lo que apoya la hipótesis de que estos casos son muy raros (cf. Bisschop et al., 2019). La unidad nacional noruega CBRNE no ha detectado ningún problema particular de HF, a pesar de que Noruega tiene la mayor cantidad de coches eléctricos de Europa.

Esto puede depender de que la HF sea una sustancia tan reactiva que haya tenido tiempo de reaccionar con el "entorno" antes de ser inhalada, por lo que la cantidad en forma gaseosa es limitada y no se encuentra en absoluto en los niveles que a veces indican los cálculos teóricos (Willstrand et al., 2020; Gunnvall et al., 2021).

Tampoco los niveles de los ensayos prácticos completados parecen ser peligrosamente altos para los bomberos que llevan ropa protectora cuando se exponen a la HF en forma gaseosa (Wingfors, 2021).

A partir de los datos disponibles, los incendios parecen haber ocurrido tanto durante la carga como espontáneamente, de los cuales el MSB señaló que las baterías de las bicicletas eléctricas no es raro que parezcan incendiarse espontáneamente. El ganador del Premio Nobel de Química 2019, el profesor John Goodenough, de 97 años, recibió el premio por sus muchos años de trabajo con el desarrollo y la seguridad de las baterías de iones de litio. Mencionó en su entrevista de premiación que un problema pendiente, en el que todavía estaba trabajando, era reducir el riesgo de formación de dendritas en las baterías es decir, el que provoca un cortocircuito interno y un incendio espontáneo. Esperemos que este riesgo disminuya en el futuro.

Los datos sobre las víctimas identificadas a través de los informes de respuesta de MSB mostraron un impacto modesto en la mayoría de los casos. En muchos casos, estos no parecen haber requerido un tratamiento especial. En un caso detectado por los investigadores de accidentes de MSB, la víctima fue tratada con un respirador con terapia completa contra la exposición al humo, gas y HF con buenos resultados. Sin embargo, tuvo dolores musculares persistentes durante varios meses, que parecen ser difíciles de explicar.

No había intoxicación por CO ni falta de oxígeno (oxigenación), que a veces puede causar daño muscular (Kim, Woo & Kang, 2019).

No se puede ignorar que esta víctima, que estuvo expuesta durante 1/2-1 minuto a humo de fuego, mostró visión borrosa y ardor en los ojos, tos intensa y posterior hinchazón del tracto respiratorio superior. Esto puede combinarse con componentes de gas agresivos que pueden en caso de incendio en estas baterías como HF, HCl, NOx, SO2.

Es probable que la víctima todavía tuviera una exposición modesta y su atención puede ilustrar un modelo para el tratamiento agresivo de gases de humo.



El denominador común del tratamiento estándar para la exposición a gases de humo es para mejorar la oxigenación de las células del cuerpo. Esto implica un tratamiento con oxígeno, así como medicamentos broncodilatadores y antiinflamatorios (cortisona), para mejorar el intercambio de oxígeno en los pulmones. Con el fin de romper el efecto HCN, Cyanokit® se administra lo antes posible en caso de efectos graves (pérdida del conocimiento/coma) y hollín en/alrededor de la nariz y las vías respiratorias. Esto significa que debe asegurarse de tener acceso a esta sustancia cuando responda a un incendio, así como llevar una solución de gluconato de calcio para reducir el efecto de la IC en las vías respiratorias si se quema una batería de iones de litio. Consulte también la sección sobre recomendaciones de tratamiento, página 6.

La dosis de componentes desfavorables del gas de fuego a los que está expuesta la víctima está determinada por la concentración de la sustancia en el aire/humo y el tiempo. A menudo es difícil calcular la contribución de los componentes individuales de una columna de humo que contiene una gran cantidad de componentes, que también pueden variar con el tiempo. Con respecto a la IC, se puede mencionar que en una tesis de Oslo (Lund, 2006), se expuso a sujetos sanos durante una hora a HF a niveles considerados aceptables desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo (< 2 ppm).

Los exámenes mostraron alguna afectación de la mucosa en las vías aéreas, incluso en estos niveles bajos, localizada principalmente en la parte superior, lo que se verificó con indicadores inflamatorios.

Además de los datos de Lund, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2014) también incluye datos de varios experimentos con animales. Los datos están dispersos. Se hace referencia, entre otras cosas, a experimentos con monos Rhesus en los que se ha calculado la DL50, es decir, la dosis en la que muere el 50 por ciento. La DL50 para 1 hora de exposición al gas HF fue 1,775 ppm.

En el estado actual de los conocimientos, se puede considerar y tratar la HF en forma gaseosa de acuerdo con el tratamiento estándar para los gases irritantes. Sin embargo, la medida cautelar El principio significa que si se ha producido una exposición a HF en forma gaseosa y la víctima presenta signos de inhalación de gases irritantes, se debe complementar el tratamiento estándar para los gases irritantes con la inhalación de una solución de gluconato de calcio nebulizada y ponerse en contacto con el Centro de Información sobre Toxicologías. En Noruega, los comprimidos de calcio se recomiendan prehospitalarios en casos graves (Helsebiblioteket, 2017), lo que ya no es el caso según las recomendaciones actualizadas del GIC en Suecia.

Los gases de incendio de los incendios en interiores donde hay baterías de iones de litio pueden contener muchos componentes que, por supuesto, debe evitar inhalar. Además de los componentes corrosivos e inhibidores de oxígeno, a veces puede estar presente gas hidrógeno, lo que puede iniciar una explosión. Esto puede ser valioso para tener en cuenta durante una operación de rescate.

Conclusion:

- "Leer el fuego" es un factor importante para la formación inicial de una comprensión de lo que arde y con qué gases de fuego tiene que lidiar. Esta es información importante para elegir la mejor estrategia de tratamiento.
- Con el estado actual de los conocimientos, se puede juzgar que el componente gaseoso HF rara vez, o no produce en absoluto, efectos sistémicos en los órganos internos del cuerpo. Es un gas irritante entre otros gases irritantes, con un efecto principalmente en la parte superior de las Vías respiratorias.
- Los efectos dañinos de un incendio en una batería de iones de litio pueden reducirse si se tratan los componentes inhibidores de oxígeno de forma agresiva de acuerdo con los métodos estándar establecidos para los gases irritantes, y se está preparado para utilizar inmediatamente los antídotos disponibles (antídotos) contra el HCN y el HF.

7. Referencias

- Anseeuw K, Delvau N, Burillo-Putze G, De Iaco F, Geldner G, Holmström P, Lambert Y, Sabbe M. Intoxicación por cianuro por inhalación de humo de fuego: un consenso de expertos europeos. *Revista Europea de Medicina de Urgencias*. 2013; 20:2-9.
- La Agencia de Medio Ambiente de Trabajo. Valores límite higiénicos 2018:1. <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/hygieniska-gransvarden-afs-2018-1.pdf> [consultado: 2022-02-01].
- Bisschop R, Willstrand O, Amon F. Seguridad contra incendios de las baterías de iones de litio en vehículos de carretera. Informe RISE 2019:50. ISBN 978-91-88907-78-3. Institutos de Investigación de Suecia. Borås. 2019. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1317419/FULLTEXT02> [Consultado: 2022-02-01].
- Björnstig J, Westman A, Saveman BI, Björnstig U. "La ambulancia química en Perstorp - valiosa competencia en CBRNE - eventos. Centro de conocimiento para la medicina de desastres, Universidad de Umeå. Umeå. 2020.
- Curry S, Spyres M. Cianuro: cianuro de hidrógeno, sales de cianuro inorgánico y nitrilos. En Brent et al. (eds.) *Toxicología de cuidados críticos*. Springer International Publishing, Suiza. 2015.
- De A, Lindström F. Incendio en un edificio. Servicio de bomberos del Gran Estocolmo Dnr 360- 203/2020. Estocolmo. 2020-02-28. Estocolmo. 2020.
- De A, Wiberg G. Incendios relacionados con iones de litio 2020. Informe final. Servicio de bomberos del Gran Estocolmo. 2020-12-02. Estocolmo. 2020.
- Gunnvall K, Molander B, Lindeman E. Película instructiva. Capacidad prehospitalaria para responder a incendios en baterías de iones de litio. Región Estocolmo. 2021. https://youtu.be/vaspu8f_X_w [Consultado: 2021-01-31].
- Hasvold Ø, Forseth S, Johannessen T, Lian T. Aspectos de seguridad de las grandes baterías de litio. Establecimiento Noruego de Investigación de Defensa. Informe 01666-2007. Kjeller, Noruega. Año 2007.
- Biblioteca de Salud, 2017. https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og_productos_quimicos/fluoruro_de_hidrogeno-acido_fluorhidrico_y_gas_fluoruro_de_hidrogeno-primeros_auxilios_en_envenenamiento [consultado: 2021-01-31].
- Biblioteca de Salud 2021. https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gases-y-quimicos/bateria-fuego-bateria--tratamiento-de-la-comiencin-envenenamiento_de_la_madera [consultado: 2021-01-31].
- Kim SG, Woo J, Kang GW. Reporte de un caso sobre las complicaciones agudas y tardías asociadas con la intoxicación por monóxido de carbono: lesión renal aguda, miólisis rabdólisa y leucoencefalopatía retardada. *Medicina (Baltimore)*. mayo de 2019; 98(19):E15551. doi: 10.1097/MD.00000000000015551.

- Autoridad Federal de Transporte Motorizado. Informe del proyecto sobre las pruebas de ignición y exposición a RF de vehículos con sistemas de aire acondicionado de vehículos utilizando R1234yf. Autoridad Federal de Transporte Motorizado – KBA 1-8 (2013). Flensburg. 2013.
- Larsson F, Andersson P, Blomqvist P, Mellander BE. Emisiones tóxicas de gases fluoruro de incendios de baterías de iones de litio. Sci Rep. 2017; 7(1):102.
- Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. Comparación de las consecuencias de incendio de un vehículo eléctrico y un vehículo con motor de combustión interna. 2ª Conferencia Internacional sobre Incendios en Vehículos – FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, Estados Unidos.
- Lund K. Efectos de la exposición experimental al fluoruro de hidrógeno en la parte superior y Vías respiratorias inferiores en voluntarios sanos. Tesis. Facultad de Medicina, Universidad de Oslo No.268. Oslo. 2005. ISBN 82-8072-173-8.
- Magnusson R, Hägglund L, Gustafsson Å, Bergström U, Lejon C. Identificación y breve evaluación toxicológica de los productos de combustión del refrigerante HFO-1234yf. Informe FOI, FOI-R-4285—SE. Umeå. 2016.
- Malmquist PO. Incendios en baterías de iones de litio 2021-12-12. https://www.youtube.com/watch?v=g2o_e7FQcaM [Consultado: 2021-01-31].
- Meraner C, Li T, Sanfeliu Meliá C. Desgasificación de baterías de iones de litio en el hogar. Informe 2021:17. Trondheim. 2021. https://risefr.no/media/publikas_joner/upload/2021/rise-rapport-2021-17_avgassing-fra-lithium-ion-batterier-i_hemmet.pdf [consultado: 2021-01-31].
- MSB. Manejo de composites de fibra de carbono en accidentes. La autoridad para la seguridad social: preparación. Publicación MSB 1747. Karlstad 2021. ISBN 978-91-7927-136-7. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29870.pdf> [consultado: 2022-01-31].
- Subcomité del Consejo Nacional de Investigación (EE. UU.) sobre niveles de pautas de exposición Niveles de Referencia de Exposición Aguda para Determinados Productos Químicos Transportad Aire: Volumen 4. Washington (DC): National Academies Press (Estados Unidos); 2014.
- Hoverboard perfecto. ¿Los hoverboards todavía se incendian en 2021? https://perfecthov_erboard_hoverboards-still-catch-fire [Recuperado: 2021-01-31].
- Söderholm T. Proyecto vehículos híbridos eléctricos. Encuesta a 100 servicios de emergencia. Recopilación de las respuestas recibidas. Dnr 2011-1687 MSB, Karlstad. 2011-08-31.
- TheFlightChannel, 2018. Boeing 747 se estrella en Dubái | Parto fatal | Vuelo 6 de UPS Airlines. <https://www.youtube.com/watch?v=EfdrtvzYZU> [Consultado: 2022-02-01]
- Truchot B, Fouillemn F, Coillet S. Evaluación experimental de las emisiones de gases tóxicos procedentes de incendios de vehículos. Revista de seguridad contra incendios. 2018;97:111-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711217307312#!>
- Vuelo 6 de UPS Airlines, Wikipedia 2010. [Consultado: 2022-02-01] https://en.wikipedia.org/wiki/UPS_Airlines_Flight_6
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) 3. Fluoruro de hidrógeno. Exposición aguda
Niveles orientativos. en los niveles de referencia de exposición aguda para determinados productos químicos transportados por el aire. Volumen 4. Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales.
The National Academic Press. Washington, DC 2004:123-186. van Veen N, Koppen A.
- Respuestas de emergencia en el humo de las baterías de iones de litio. En: FIVE 2020. Institutos de Investigación de Suecia. Borås. 2020.

Westman A. Riesgos químicos futuros para los servicios de emergencia y el público en general durante Incendios en vehículos modernos. Informe MSB 1723. MSB, Karlstad. 2021. ISBN: 978-91-7927-123-7.

Willstrand O, Bisschop R, Blomqvist P, Temple A, Anderson J. Gases del fuego en vehículos eléctricos. Informe RISE 2020:90. Institutos de Investigación de Suecia. Borås. 2020. <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf> [consultado: 2022-02-01].

Wingfors H, Magnusson R, Thors L, Thune M. HF gaseoso en incendios en espacios confinados: riesgos de absorción cutánea durante las intervenciones. Informe de MSB MSB1723. MSB, Karlstad. 2021. ISBN: 978-91-7927-123-7.



| Apéndice

8. Fluoruro de hidrógeno (HF) en forma líquida y gaseosa

El episodio está escrito por el médico Erik Lindeman, del Centro de Información sobre envenenamientos.

La lista de referencias de esta sección tiene un diseño deliberadamente diferente al del texto anterior para evitar confusiones.

El fluoruro de hidrógeno (HF) puede formarse en un incendio que gasifica el electrolito en baterías de iones de litio, así como en un incendio en otros productos que contienen compuestos de flúor (por ejemplo, aire acondicionado fluidos o sistemas de extinción de incendios). El HF aparece entonces como uno de los muchos componentes tóxicos (venenosos) e irritantes en el humo del incendio y no está claro hasta qué punto el HF contribuye a aumentar significativamente la toxicidad del humo.

La presencia de HF en el humo de los incendios de baterías ha atraído la atención tanto de los medios de comunicación como de las autoridades y organizaciones de rescate. El Centro de Información sobre Envenenamiento (GIC) ha sido contactado en varias ocasiones por representantes de los servicios de emergencia de diferentes partes del país, quienes han expresado su preocupación e incertidumbre sobre los riesgos que representa para ellos y sus colegas la HF en el humo de los incendios por la quema de baterías. Sin embargo, no se ha **consultado al GIC en un solo caso en el que la exposición al humo del fuego haya provocado síntomas de intoxicación que pudieran considerarse indicativos de un efecto tóxico de la IC**. Tampoco lo ha hecho el seguimiento de la HF en el humo de la combustión de baterías de iones de litio plantea un problema toxicológico agudo en particular.

El conocimiento que tenemos sobre los efectos tóxicos del HF proviene principalmente de la forma líquida de la sustancia, que se llama ácido fluorhídrico. Pero la toxicidad del ácido fluorhídrico varía mucho tanto con la vía de exposición como, sobre todo, con la concentración. Es difícil extrapolar a partir de experiencias de accidentes notorios con ácido fluorhídrico altamente concentrado para estimar los riesgos con ácido fluorhídrico diluido o con HF en el humo de las baterías quemadas. Sin embargo, es probable que tal extrapolación haya contribuido a crear la atención y la preocupación sobre la HF en el humo de los incendios de baterías que existe en la sociedad. El siguiente texto es un intento que, sobre la base de la bibliografía disponible, haga una evaluación más matizada del riesgo que plantea la IC en sus diversas "formas"; con diferentes concentraciones y en diferentes fases.

8.1 HF en forma líquida

El ácido fluorhídrico anhidro (> 70 por ciento) es uno de los ácidos más fuertes que conocemos y tiene una merecida reputación como una sustancia muy peligrosa. Varios de los pioneros de la científicos químicos (incluyendo a Humphrey Davy) resultaron gravemente heridos cuando se encontraron por primera vez el tema en el siglo XIX. Por lo tanto, el ácido fluorhídrico llegó a ser llamado "el tigre de la química".

En caso de exposición de la piel, rápidamente se producen lesiones dolorosas que penetran más profundamente en la piel en el transcurso de minutos-horas. También hay una absorción de iones de fluoruro en la sangre, lo que puede causar una "toxicidad sistémica" grave. El ion fluoruro es muy reactivo y ataca muchas estructuras importantes del cuerpo. Entre otras cosas, forma

sales insolubles con iones de calcio y magnesio, que pueden conducir a una falta pronunciada de estos electrolitos (hipocalcemia e hipomagnesemia), lo que a su vez puede provocar un paro cardíaco. Incluso una pequeña exposición de la piel al ácido fluorhídrico anhidro (< 1 por ciento de la superficie corporal) puede provocar una toxicidad sistémica potencialmente mortal. La capacidad de la sustancia para destruir los recipientes de almacenamiento (tanto de vidrio como de metal) y el hecho de que se vaporiza fuertemente ("humea") a temperatura ambiente aumentan los riesgos.

El ácido fluorhídrico anhidro se produce como un producto químico industrial y está rodeado de una rigurosa seguridad, lo que ha contribuido a que exposiciones muy inusuales en Suecia.¹ **El ácido fluorhídrico diluido (5-20 por ciento)** se utiliza para la limpieza de chapas metálicas y juntas de soldadura (el llamado "agente decapante"). Los cebos son a menudo mezclas que también incluyen otras sustancias tóxicas (por ejemplo, ácido nítrico). GIC recibe varias llamadas cada mes con respecto a la exposición accidental de la piel ocupacional a mordientes. Si no se trata, esta exposición puede provocar lesiones cutáneas dolorosas o úlceras necróticas, que pueden progresar a lo largo de la el transcurso de varios días. Sin embargo, el ácido fluorhídrico diluido es un ácido débil (comparable al vinagre), que limita en gran medida la capacidad del ion fluoruro para atravesar la barrera cutánea, y la toxicidad sistémica solo ocurre con una exposición cutánea muy grande o después de la ingestión. El tratamiento precoz (con lavado y aplicación de gel de gluconato de calcio) también previene la ulceración en casi todos los casos.

Resumen

- El ácido fluorhídrico tiene una merecida reputación como producto químico altamente tóxico.
- La exposición de la piel a la forma anhidra puede provocar daños graves en la piel y a la toxicidad sistémica potencialmente mortal.
- La exposición de la piel a la forma diluida puede provocar daños en la piel, pero muy raramente toxicidad sistémica.

8.2 HF en forma gaseosa

8.2.1 Exposición por inhalación y riesgo de toxicidad sistémica (impacto en los órganos internos)

El HF gaseoso es un gas irritante cuya capacidad para causar daño, como el ácido fluorhídrico líquido, depende de su concentración (medida en partes por millón, ppm). Los "humos" de ácido fluorhídrico anhidro y, en relación con accidentes industriales, pueden formar una niebla de HF gaseoso en concentraciones muy altas, donde la exposición al gas se vuelve difícil de distinguir en la práctica de la exposición al ácido líquido. En la bibliografía publicada, hay varios casos en los que se ha producido toxicidad sistémica y daño respiratorio durante la exposición al ácido fluorhídrico anhidro fumante y a la niebla gaseosa de HF, pero en todos los casos, se ha producido un daño cutáneo tangible al mismo tiempo y la exposición se caracteriza por una combinación de exposición cutánea, aspiración y posiblemente también ingestión de ácido líquido además de la exposición por inhalación.²⁻¹¹ En la literatura científica, no hay ejemplos de casos en los que la inhalación aislada de HF gaseosa haya dado lugar a toxicidad sistémica, y en animales de experimentación exposición a HF gaseosa los animales mueren porque los pulmones se destruyen antes de que sufran toxicidad sistémica.¹²

Resumen

- No se considera que la inhalación de HF gaseoso como única vía de exposición provoque toxicidad sistémica.

8.2.2 Exposición por inhalación y riesgo de daño a las vías respiratorias y los pulmones

La HF gaseosa es altamente soluble en agua y, por lo tanto, da lugar a síntomas claros de la mucosas de los ojos, la nariz, la boca y la laringe. El gas no puede causar síntomas pulmonares sin antes causar síntomas graves en el tracto respiratorio superior. En este sentido, la IC difiere de los gases irritantes insolubles en agua (por ejemplo, los gases nitrosos), que causan pocos síntomas en el tracto respiratorio superior y, en cambio, alcanzan altas concentraciones en los pulmones, donde pueden causar edema pulmonar (derrame de líquidos) con retraso. A pesar de esto, a menudo se afirma que la IC gaseosa puede dar lugar a edema pulmonar y que el edema pulmonar puede debutar con retraso.

Sin embargo, los casos publicados en los que se produjo una lesión pulmonar profunda/edema pulmonar (generalmente en forma de un hallazgo de autopsia) se refieren, sin embargo, exclusivamente a lesiones en las que las vías respiratorias superiores (boca, faringe y tráquea) son las más gravemente afectadas y que probablemente fueron causadas en parte por la aspiración de ácido fluorhídrico líquido; 3,9,13 o en los casos en que el edema pulmonar surgió como resultado de un colapso circulatorio (insuficiencia cardíaca) causado por la captación de iones de fluoruro a través de una vía de exposición diferente a la de los pulmones (es decir, absorción o ingestión cutánea). 10,13,14 (Ver también sección 8.3).

La exposición experimental en animales a la HF gaseosa da lugar a una propagación del daño típico de un gas irritante soluble en agua, en el que el tracto respiratorio superior se ve afectado en un grado mucho mayor que el pulmón. En ratas, que respiran exclusivamente por la nariz y tienen conductos nasofaríngeos sinuosos con una gran superficie mucosa, > el 99 por ciento de la IC administrada se absorbe en las vías respiratorias superiores. Para que sea posible estudiar los efectos de la IC en los pulmones en experimentos con ratas, los animales deben ser alimentados con el gas a través de un tubo traqueal.12,15

Resumen

- No se considera que el edema pulmonar tóxico como síntoma aislado ocurra durante la exposición a la IC gaseosa, ya sea de forma aguda o después de la latencia.

8.2.3 HF gaseoso en el humo de la combustión de baterías de iones de litio.

Datos básicos sobre las concentraciones: El límite de detección para el olor acre y acre característico de la HF gaseosa es de 0,02 a 0,13 ppm. Las pruebas de exposición en humanos han demostrado que la irritación de los ojos y las vías respiratorias se hace perceptible a 5 ppm, pero que los niveles de hasta aproximadamente 30 ppm "pueden ser tolerados".12

La Agencia Americana de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) ha determinado niveles que (en caso de exposición durante más de diez minutos) corren el riesgo de causar daños a 95 ppm ("AEGL-2") y la muerte a 170 ppm ("AEGL-3"). Estos valores se basan en una recopilación de la exposición más baja a los pulmones y letal durante el período de tiempo correspondiente en ratas intubadas traquealmente. Para obtener los niveles de AEGL, la dosis letal o (observablemente) dañina más baja se ha dividido por un factor de incertidumbre

factor", UF de 10, entre otras cosas para compensar las posibles diferencias en la sensibilidad a través de los límites de las especies. Por lo tanto, las dosis letales reales para HF (sin UF aplicada) son diez veces más altas y concuerdan relativamente bien entre diferentes especies (incluidos los monos Rhesus). Pocas o ninguna muerte ocurre cuando se expone a concentraciones por debajo de 1000 ppm (hasta 60 minutos), mientras que las dosis de exposición > 5000 ppm durante un corto tiempo (2-5 minutos) producen un daño respiratorio pronunciado con mortalidad significativa en ratas, ratones, conejos y cobayas.¹²

Dos sujetos voluntarios fueron expuestos (1934) a 120 ppm de HF gaseoso, un nivel descrito como inconcebible de tolerar durante más de un minuto debido a su insoportable ardor en los ojos, la nariz, la boca y la piel expuesta. Trece trabajadores de una refinería de petróleo estuvieron expuestos a 150-200 ppm sin desarrollar más que síntomas moderados transitorios, y en un estudio no publicado citado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), se dice que siete trabajadores sobrevivieron a una breve exposición a 10.000 ppm sin secuelas a largo plazo (consecuencias).^{12,16.}

8.2.4 Concentración de HF en el humo de incendio de las baterías de iones de litio

En las mediciones en la columna de humo de la combustión de baterías de iones de litio de varios tamaños, se han medido concentraciones de HF de 150 a 450 ppm durante los picos a corto plazo, mientras que durante la mayor parte del curso del incendio los niveles están alrededor o por debajo de 50 ppm.^{17,18} En el caso de un incendio de batería en un espacio cerrado, es concebible que se produzcan concentraciones más altas, Pero los estudios empíricos publicados no indican que esto ocurra en la práctica.

En un estudio realizado para MSB, se encontró que era imposible alcanzar niveles detectables de HF gaseoso en un recipiente de prueba lleno con los humos de dos baterías de iones de litio sometidas a fuga térmica.¹⁹ Una explicación para este hallazgo podría ser que la reactividad química del HF gaseoso hace que el gas se una rápidamente a varias superficies a las que está expuesto y, por lo tanto, desaparezca de la atmósfera. Este fenómeno ha sido demostrado en un estudio holandés en el que el humo de cinco baterías de iones de litio se dirigía a una pequeña carpa de humo. Los niveles de HF gaseoso disminuyeron de 100 ppm iniciales a 5 ppm en 20 minutos (véase también la Figura 3 en la referencia 20). El estudio holandés también plantea preguntas sobre las cantidades absolutas de HF generadas en el humo de la combustión de baterías de iones de litio. La cantidad total de iones de fluoruro en las superficies más contaminadas de la carpa de humo (después de ocho iones de litio)

baterías) ascendieron a 220 µg/100⁻²⁰ A modo de comparación, cabe mencionar que: cm², una persona sobrevivió a una inyección subcutánea de ion fluoruro (a través de ácido fluorhídrico diluido) de 350 mg, es decir, una dosis 1.500 veces mayor que la del estudio holandés 220 µg.³⁷

Resumen

- Las concentraciones muy bajas de HF que parecen ocurrir en la práctica en los incendios de baterías de iones de litio significan que es poco probable que el HF gaseoso haga que el humo de estos incendios sea más tóxico que otros humos de incendios.
- La alta sensibilidad de los seres humanos incluso a pequeñas cantidades de HF gaseoso en el aire inhalado hace inconcebible que las concentraciones potencialmente tóxicas agudas (> 50-100 ppm) puedan pasar desapercibidas.
- Gaseous HF cannot cause pulmonary edema as the only symptom and it is excluded that exposure to smoke from burning batteries could cause systemic toxicity (cardiac effects).
- En caso de exposición intensa con síntomas de las vías respiratorias, puede complementar sed Tratamiento habitual (broncodilatadores y antiinflamatorios) con inhalación de gluconato cálcico nebulizado. Póngase en contacto con el Centro de Información sobre Venenos.

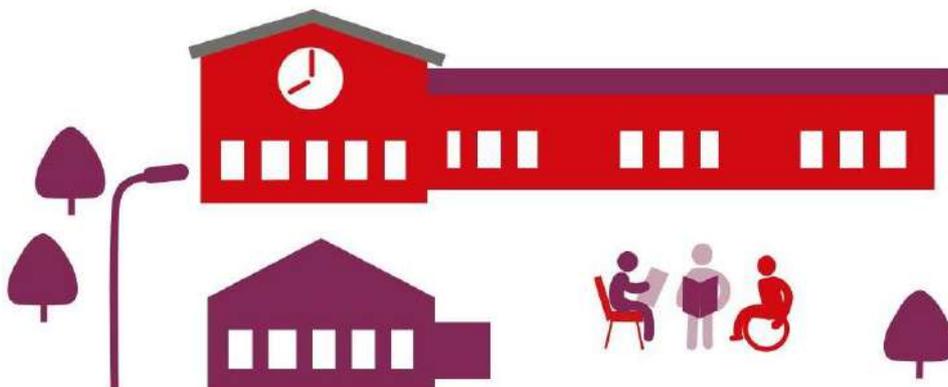
8.3 Ausencia de efectos pulmonares tóxicos en la literatura

La noción de que la inhalación de HF gaseosa puede causar edema pulmonar parece provenir de una serie de informes de casos publicados en la década de 1960, que describen a trabajadores industriales cuyas caras estuvieron expuestas a HF gaseosa (100,000 ppm) o a ácido fluorhídrico anhidro.^{7,9,10} Los pacientes murieron dentro de las 2 a 10 horas y la autopsia mostró edema pulmonar hemorrágico (sanguinolento) en todos los casos, además de daño cutáneo severo. Los autores evalúan que una lesión pulmonar profunda contribuyó o causó las muertes, pero en los dos casos en los que se describe el curso con más detalle, está claro que los pacientes murieron de un paro cardíaco causado por toxicidad sistémica, no por insuficiencia respiratoria.

El edema pulmonar hemorrágico puede observarse en la autopsia, incluso después de la muerte, cuando el pulmón no estuvo expuesto principalmente al ácido fluorhídrico y probablemente es causado por el colapso circulatorio y las medidas de reanimación (reanimación).^{13,21} En 1965, se publicó una serie de casos influyentes sobre el edema pulmonar con inicio después de la latencia en la exposición a sustancias químicas.²² La mayoría de los casos en el artículo se refieren a sustancias químicas que son bien conocidas por dar lugar a dicho proceso (dióxido de nitrógeno, ozono y dimetilsulfato entre otros), pero aquí también se ha incluido un caso de exposición al ácido fluorhídrico. De los pocos detalles dados, parece que el paciente recibió ácido fluorhídrico anhidro en la cara y los brazos. El paciente falleció después de diez horas y difícilmente pudo haber estado libre de síntomas hasta que se le realizó una traqueostomía a las tres horas de iniciado el curso (el "período de latencia"). La autopsia mostró un severo daño cáustico en la tráquea, que se puede suponer que se debió a la aspiración de ácido fluorhídrico anhidro. Este curso de envenenamiento es inconsistente con el mensaje principal

del artículo, pero ayudó a difundir la noción de que la IC gaseosa puede causar edema pulmonar con latencia.

También hay muchos casos publicados en los que el daño pulmonar se asocia con la IC a pesar de que los pacientes fueron expuestos simultáneamente a otras sustancias químicas que en realidad explican mejor el curso (a menudo otros ácidos, por ejemplo, el ácido nítrico cuyos vapores contienen gases nitrosos).²³⁻²⁷ En otros casos publicados en los que se alega que la IC ha causado una lesión pulmonar aislada, no está claro que se haya producido ninguna exposición a la IC.²⁸⁻³⁰ Ciertamente, existen descripciones de casos individuales/series de casos e investigaciones en sujetos voluntarios que sugieren que la IC. La exposición puede causar inflamación de las vías respiratorias/enfermedad reactiva de las vías respiratorias (RADS),³¹⁻³³ pero esto no es exclusivo de la IC y no tiene implicaciones toxicológicas agudas obvias. Al mismo tiempo, existen varios estudios de seguimiento después de accidentes laborales (con un total de varios miles de individuos potencialmente expuestos) donde muchos se vieron afectados por irritación ocular, dolor de garganta y tos, pero donde no se destacaron casos de edema pulmonar (ya sea agudo o tardío).^{16,34-38}



8.4 Apéndice de referencias

1. Björnhagen V, Höjer J, Karlson-Stiber C, Seldén AI, Sundbom M. Quemaduras inducidas por ácido fluorhídrico e intoxicación sistémica potencialmente mortal: resultado favorable después de la hemodiálisis. *J Toxicol Clin Toxicol* 2003; 41(6):855–60.
2. Chela A, Reig R, Sanz P, Huguet E, Corbella J. Death due to hydrofluoric acid. *Am J Forensic Med Pathol* 1989; 10(1):47–8.
3. Yuanhai Z, Xingang W, Liangfang N, Chunmao H. Gestión de un Pa Con quemaduras faciocervicales y lesiones por inhalación debido a la exposición al ácido fluorhídrico. *Int J Heridas en Extremidades Bajas* 2014; 13(2):155–9.
4. Yamaura K, Kao B, Iimori E, Urakami H, Takahashi S. taquiarritmias asociadas con la prolongación del intervalo QT después de quemaduras por ácido fluorhídrico. *J Toxicol Clin Toxicol* 1997; 35(3):311–3.
5. Dote T, Kono K, Usuda K, Shimizu H, Kawasaki T, Dote E. Exposición letal por inhalación durante la operación de mantenimiento de un tanque de licuefacción de fluoruro de hidrógeno. *Toxicol Ind Health* 2003; 19(2-6):51–4.
6. Greco RJ, Hartford CE, Haith LR Jr, Patton ML. Hipocalcemia inducida por ácido fluorhídrico. *J Trauma* 1988; 28(11):1593–6.
7. Dieffenbacher PF, Thompson JH. Quemaduras por exposición al ácido fluorhídrico anhidro. *J Occup Med Jun* 4; 1962; Isaías 4:325–6.
8. Pu Q, Qian J, Tao W, Yang A, Wu J, Wang Y. Oxigenación por membrana extracorpórea combinada con terapia de reemplazo renal continuo en quemaduras cutáneas y lesiones por inhalación causadas por ácido fluorhídrico y ácido nítrico. *Medicina* 2017; 96(48):E8972.
9. Greendyke RM, Hodge HC. Muerte accidental por ácido fluorhídrico. *J Ciencias Forenses* 1964; 9(3):383–90.
10. Mayer L, Guelich J. Inhalación y quemaduras de fluoruro de hidrógeno (HF). *Arch Environ Health* 1963; 7:445–7.
11. Watson AA, Oliver JS, Thorpe JW. Muerte accidental por inhalación de ácido fluorhídrico. *Derecho de Ciencias Médicas* 1973; 13(4):277–9.
12. Subcomité del Consejo Nacional de Investigación (EE. UU.) sobre niveles de pautas de exposición aguda. Niveles Orientativos de Exposición Aguda para Quimioterapias Aéreas Seleccionadas: Volumen 4. Washington (DC): National Academies Press (Estados Unidos); Año 2014.
13. Manoguerra AS, Neuman TS. Intoxicación mortal por ingestión aguda de ácido fluorhídrico. *Am J Emerg Med* 1986; 4(4):362–3.
14. Tepperman PB. Muerte por intoxicación sistémica aguda por fluoruro después de una quemadura cutánea con ácido fluorhídrico. *J Occup Med* 1980; 22(10):691–2.
15. Dalbey W, Dunn B, Bannister R, et al. Efectos agudos de la exposición de 10 minutos al fluoruro de hidrógeno en ratas y derivación de un límite de exposición a corto plazo para los seres humanos. *Regul Toxicol Pharmacol* 1998; 27(3):207–16.
16. Lee DC, Wiley JF 2º, Synder JW 2º. Tratamiento de la exposición inhalatoria al ácido fluorhídrico con gluconato de calcio nebulizado. *J Occup Med* 1993; 35(5):470.
17. Truchot B, Fouillen F, Collet S. Una evaluación experimental de las emisiones de gases tóxicos de los incendios de vehículos. *Fire Saf J* 2018; 97:111–8.
18. Larsson F, Andersson P, Blomqvist P, Mellander BE. Emisiones tóxicas de gases fluoruro de incendios de baterías de iones de litio. *Sci Rep* 2017; 7(1):102.

19. Wingfors H, Magnusson R, Thors L, Thunell M. HF gaseoso en incendios en espacios confinados [Internet]. MSB 1717 – febrero de 2021 [citado 15 de marzo de 2022]; Disponible desde: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29507.pdf> 20. furgoneta
20. Veen N, Koppen A. Respuestas de emergencia en el humo de las baterías de iones de litio FIVE 2020. En: Willstrand O, editor.
21. Mayer TG, Gross PL. Fluorosis sistémica fatal por quemaduras con ácido fluorhídrico. *Ann Emerg Med* 1985; 14(2):149–53.
22. Kleinfeld M. Edema pulmonar agudo de origen químico. *Arch Environ Health* 1965; 10:942–6.
23. Bennion JR, Usaf M, Franzblau A. Neumonitis química después de la exposición doméstica al ácido fluorhídrico. *Am J Ind Med* 1997; 31:474–8.
24. Steverlynck L, Baert N, Buylaert W, De Paepe P. Inhalación aguda combinada de ácido fluorhídrico y ácido nítrico: informe de un caso y revisión de la literatura. *Acta Clin Belg* 2017; 72(4):278–88.
25. Skolnik S. Exposición aguda por inhalación al fluoruro de hidrógeno: Exposición aguda por inhalación al fluoruro de hidrógeno. *J Occup Environ Hyg* 2010; 7(6):D 31–3.
26. Tsonis L, Hantsch-Bardsley C, Gamelli RL. Lesión por inhalación de ácido fluorhídrico. *J Burn Care Res* 2008; 29(5):852–5.
27. Shin JS, Lee SW, Kim NH, et al. Soporte vital extracorpóreo exitoso después de un edema pulmonar potencialmente mortal causado por la inhalación de vapores de ácido nítrico y fluorhídrico. *Reanimación* 2007; 75(1):184–8.
28. Zierold D, Chauviere M. Lesión por inhalación de fluoruro de hidrógeno debido a un sistema de extinción de incendios. *Mil Med* 2012; 177(1):108–12.
29. Kono K, Watanabe T, Dote T, et al. Tratamientos exitosos de lesiones pulmonares y quemaduras en la piel debido a la exposición al ácido fluorhídrico. *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73 Supl:S93-7.
30. Lee YJ, Jeong IB. Neumonitis química por inhalación prolongada de fluoruro de hidrógeno. *Respir Med Case Rep* 2021;32:101338.
31. Franzblau A, Sahakian N. Asma después de la exposición doméstica al ácido fluorhídrico. *Am J Ind Med* 2003; 44(3):321–4.
32. Dayal HH, Brodwick M, Morris R, et al. Estudio epidemiológico comunitario de las secuelas de salud de la exposición al ácido fluorhídrico. *Ann Epidemiol* 1992; 2(3):213–30.
33. Lund K, Dunster C, Ramis I, et al. Marcadores inflamatorios en líquido de lavado veolar bronquial de voluntarios humanos 2 horas después de la exposición al fluoruro de hidrógeno. *Hum Exp Toxicol* 2005; 24(3):101–8.
34. Choe MSP, Lee MJ, Seo KS, et al. Aplicación de nebulización de calcio para la exposición masiva a un derrame accidental de ácido fluorhídrico. *Quemaduras* 2020; 46(6):1337–46.
35. Na JY, Woo KH, Yoon SY, et al. Síntomas agudos después de un derrame de fluoruro de hidrógeno en la comunidad. *Ann Occup Environ Med* 2013; 25(1):17.
36. Wing JS, Brender JD, Sanderson LM, Perrotta DM, Beauchamp RA. Efectos agudos en la salud de una comunidad después de una liberación de ácido fluorhídrico. *Arch Environ Health* 1991; 46(3):155–60.
37. Gallerani M, Bettoli V, Peron L, Manfredini R. Efectos sistémicos y tópicos del ácido fluorhídrico intradérmico. *Am J Emerg Med* 1998; 16(5):521–2.
38. Waldbott GL, Lee JR. Toxicidad por exposición repetida de bajo grado al fluoruro de hidrógeno – informe de caso. *Clin Toxicol* 1978; 13(3):391–402.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

En asociación con:



Giftinformationscentralen
SWEDISH POISONS INFORMATION CENTRE



Flisa
Sveriges Ledningsansvariga
Ambulansläkare i Samverkan

© La Agencia Sueca para la Protección y Preparación de la Comunidad (MSB)

651 81 Karlstad Teléfono 0771-240 240 www.msb.se Publ.

MSB1960 - Agosto 2022 ISBN 978-91-7927-269-2